Que sais-je ?

LA VOIX

PAR ÉDOUARD GARDE

PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE

EXTRAIT DU CATALOGUE DE LA COLLECTION

Nos 1 à 100

1. **Les étapes de la biologie** (M. Caullery).
2. **De l'atome à l'étoile** (P. Rousseau).
3. **Les certitudes du hasard** (M. Boll).
4. **Histoire de l'Afrique** (Ch.-A. Julien).
5. **Comment se défend l'organisme** (Pr L. Binet).
6. **Le peuple des abeilles** (Dr M. Mathis).
7. **Histoire de l'électricité** (P. Devaux).
8. **Le système nerveux** (Dr P. Chauchard).
9. **Les grandes religions** (E. Aegerter).
11. **Le cancer** (Dr S. Laborde).
12. **Les vitamines** (S. Gallot).
13. **L'astronomie sans télescope** (P. Rousseau).
14. **L'éducation nouvelle** (A. Medici).
15. **La tuberculose** (Dr J. Delarue).
16. **La terre et son histoire** (L. Rudaux).
17. **Les premières civilisations de la Méditerranée** (J. Gabriel-Leroux).
18. **Histoire de l'architecture** (J.-Ch. Moreux).
19. **L'exploitation rationnelle des abeilles** (Dr M. Mathis).
20. **La vie créatrice de roches** (G. Deflandre).
21. **Les ultrasons** (F. Draveil).
22. **L'alimentation humaine** (R. Lalanne).
24. **Les rêves** (Dr J. Lhermitte).
25. **Histoire de l'Asie** (R. Grousset).
26. **Le mobilier français** (G. Janneau).
27. **Les mécanismes économiques** (H. Culmann).
28. **La peinture moderne** (R. Rey).
29. **Automates et automatisme** (P. Devaux).
30. **La télévision** (P. Grivet et P. Herreng).
31. **Les étapes de la médecine** (Dr J. Fauvet).
32. **L'économie humaine** (R. Sand).
33. **Radium et radioactivité** (G. Dupuy).
34. **Histoire de Paris** (M. Raval).
35. **Les étapes de la chimie** (L. J. Olmer).
36. **Histoire de la propriété** (F. Challaye).
37. **La relativité** P. Couderc).
38. **Histoire des États-Unis** (J. Canu).
39. **Les hormones** (P. Rey).
40. **Histoire de la musique** (B. Champigneulle).
41. **Radionavigation et radioguidage** (F. Raymond).
42. **Les étapes des mathématiques** (M. Boll).
43. **Histoire de la navigation** (A. Thomasi).
44. **La monnaie et le change** (H. Gardel).
45. **Les arts du feu** (G. Janneau).
46. **Les matières plastiques** (M. Daumas).
47. **Les grandes philosophies** (P. Ducassé).
48. **La lumière** (P. Rousseau).
49. **Le roman français depuis 1900** (R. Lalou).
50. **La sexualité** (L. Gallien).
51. **Les migrations des animaux** (R. Thévenin).
53. **Les microbes** (Dr A. Boivin).
54. **Les étapes de l'archéologie** (G. Daux).
55. **Histoire du commerce** (G. Lefranc).
56. **La défense de nos cultures** (P. Marsais).
57. **L'exploitation du hasard** (M. Boll).
58. **Le péril vénérien** (Drs J. et H. Payenneville).
59. **L'équipement électrique de la France** (J. Martincourt).
60. **La guerre des matières premières** (H. Peyret).
61. **La toxicologie** (Pr R. Fabre).
62. **L'agriculture coloniale** (A. Chevalier).
63. **Technique du sport** (J. Dauven).
65. **Les étapes de la géographie** (R. Clozier).
66. **Histoire de la peinture** (L. Hourticq).
67. **Étude physique de la terre** (Ch. Maurain).
68. **L'embryologie** (M. Caullery).
69. **La formation de la France au Moyen âge** (J. Calmette).
70. **Les rayons X** (A. Boutaric).
71. **L'éducation des enfants difficiles** (Dr G. Robin).
72. **La vie dans les mers** (R. Legendre).
73. **Les expéditions polaires** (A. Thomazi).
74. **Histoire de la sculpture** (L. Hourticq).
75. **Histoire de l'Océanie** (Ch.-A. Julien).
76. **Les assurances** (M. Fauque).
77. **Les arts d'Extrême-Orient** (J. Auboyer).
78. **La croissance** (M. Abeloos).
79. **Origine des plantes cultivées** (L. Guyot).
80. **La lutte pour les denrées vitales** (H. Peyret).
81. **Histoire du cinéma** (Lo Duca).
82. **La littérature symboliste** (A.-M. Schmidt).
83. **Les insectes et l'homme** (L. Berland).
84. **Le papier et les dérivés de la cellulose** (E.-J. Olmer).
85. **La littérature française de la Renaissance** (V.-L. Saulnier).
86. **Les chemins de fer** (P. Devaux).
87. **Le tabac** (A. Chevalier et F. Emmanuel).
88. **Histoire de la vitesse** (P. Rousseau).
89. **La météorologie** (A. Viaut).
90. **Le coton** (A. Chevalier et P. Senay).
91. **Les probabilités et la vie** (E. Borel).
92. **Les océans** (C. Francis-Bœuf).
93. **Les matières premières de synthèse** (J. Vène).
94. **La chimie du cerveau** (P. Chauchard).
95. **La littérature française du siècle classique** (V.-L. Saulnier).
96. **Les étapes de la métallurgie** (L. Guillet).
97. **La mesure du temps** (M. Granier).
98. **La vision** (E. Devaux).
99. **La T. S. F.** (R. Bureau).
100. **Les ports maritimes** (M. Hérubel).

LA VOIX

« QUE SAIS-JE ? »
LE POINT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

LA VOIX

par

Édouard GARDE
Chargé de consultation de phoniatrie à l'Hôpital Boucicaut
Laryngologiste de la Maîtrise de la Radiodiffusion française

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

1954

DÉPOT LÉGAL
1re édition .. .. .. 2e trimestre 1954

TOUS DROITS
de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays

COPYRIGHT
by *Presses Universitaires de France*, 1954

Chapitre Premier

ANATOMIE DU LARYNX

Ses rapports avec la phonation

Les différentes fonctions du larynx. — Les anatomistes ont coutume de définir le larynx comme l'organe essentiel de la phonation. La multiplicité, la mobilité des pièces cartilagineuses dont il se compose et entre lesquelles sont tendus des replis membraneux — les cordes vocales — serait, s'il faut en croire notamment Rouvière, en rapport avec cette fonction.

En réalité, le larynx a d'abord et surtout un rôle respiratoire ; ensuite, sa fermeture (après inspiration) contribue à assurer la fixité et la rigidité de la cage thoracique nécessaires à l'usage des membres supérieurs ; enfin, il joue un rôle phonateur. Mais ce que l'on sait de la phylogénie ou développement de l'espèce et les recherches d'anatomie et de physiologie comparées de Négus montrent que la phonation apparaît à titre d'adaptation fonctionnelle secondaire, liée au mode de vie de certains animaux et surajoutée à une anatomie non prévue pour elle. L'ensemble des organes dits phonateurs : poumons, larynx, cavités sus-laryngées, ne constitue pas un organe sensoriel ou moteur spécialement adapté à la phonation, laquelle résulte en définitive d'une organisation spéciale des centres nerveux.

Aussi, à côté de l'anatomie du larynx, nous aurons encore et surtout à nous préoccuper des voies et centres nerveux en général dans la mesure où ils sont utilisés par les besoins phonatoires. Car si l'on fait du bruit avec son larynx, on parle et on chante avec son cerveau.

Situation

Le larynx est situé en avant du pharynx, au-dessous de l'os hyoïde et au-dessus de la trachée. Par rapport à la colonne vertébrale, il est plus élevé

chez l'enfant que chez l'adulte, légèrement plus élevé aussi chez la femme que chez l'homme. Chez l'homme adulte, l'extrémité inférieure du larynx répond au bord inférieur de la sixième vertèbre cervicale.

Le larynx est très mobile. Il s'élève pendant le temps pharyngien de la déglutition. Il s'élève également pendant l'émission des sons aigus, du moins chez le chanteur inculte. Il s'abaisse pendant l'émission des sons graves, au cours du bâillement, quand une voix cultivée passe du médium à l'aigu.

Dimensions

Elles varient suivant l'âge, le sexe et les individus.

Le volume du larynx, plus grand chez l'homme que chez la femme, s'accroît faiblement jusqu'à la puberté. A cette époque, le larynx augmente très rapidement de volume et acquiert dans l'espace de dix-huit mois à deux ans un développement presque complet.

On a longtemps soutenu que les variations individuelles étaient en rapport avec la hauteur de la voix. Les petits larynx étaient censés produire des sons élevés ; les grands larynx, des sons graves. Ces différenciations, d'ailleurs inconstantes, ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis qu'on sait que c'est l'influx nerveux qui commande la voix. Nous verrons plus loin que le classement des voix repose désormais sur la mesure de l'excitabilité du récurrent, nerf moteur du larynx.

Constitution anatomique du larynx

Le larynx présente : 1° Un squelette composé de pièces cartilagineuses ; 2° Des articulations et des ligaments reliant ces cartilages entre eux et aux organes voisins ; 3° Des muscles ; 4° Une muqueuse.

Cartilages du larynx. — Ils sont normalement au nombre de onze. *Trois sont impairs ou médians* ; ce sont de bas en haut : *a)* le cartilage *cricoïde*, en forme d'anneau, situé à la partie inférieure du larynx ; *b)* le cartilage *thyroïde*, situé au-dessus de l'arc cricoïdien, formé de deux lames latérales qu'on peut comparer à un livre à moitié ouvert dont l'ouverture regarderait en arrière. Sa face antérieure présente sur la ligne médiane la saillie connue sous le nom de pomme d'Adam. Sa face postérieure présente sur la ligne médiane un angle rentrant dans lequel s'insèrent les cordes vocales (extrémité antérieure) ; *c)* le cartilage *épiglottique*, élastique, mince et souple. C'est le « couvercle du larynx ». L'épiglotte est unie à la langue par les replis glosso-épiglottiques et à l'os hyoïde par la membrane hyo-épiglottique.

Quatre sont pairs ou latéraux, ce sont : *a)* les cartilages *aryténoïdes*, en forme de pyramide triangulaire à base inférieure, sur lesquels s'insèrent les cordes vocales (extrémité postérieure) ; *b)* les cartilages *corniculés de Santorini*, deux petits noyaux cartilagineux de la grosseur d'un grain de millet, articulés avec le sommet du cartilage aryténoïde et souvent soudés avec lui ; *c)* les cartilages de *Morgagni* ou de *Wrisberg*, représentés par deux nodules cartilagineux situés dans l'épaisseur des replis aryténo-épiglottiques ; *d)* les cartilages *sésamoïdes antérieurs*, situés à l'extrémité antérieure des ligaments thyro-aryténoïdiens.

Nous n'entrerons pas dans la description détaillée de tous ces cartilages. Bornons-nous à indiquer que des articulations et des ligaments unissent entre eux les cartilages du larynx, de même que des ligaments unissent le larynx aux organes voisins (fig. 1, 2 et 3).

Muscles du larynx. — Les muscles du larynx sont de deux sortes : les uns, appelés muscles extrin-

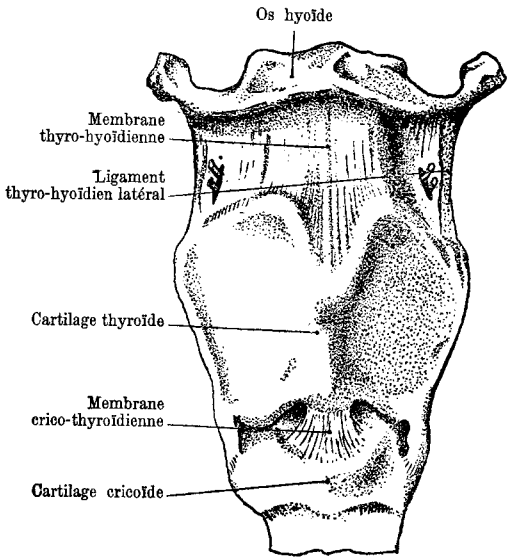

Fig. 1. — Articulations et ligaments qui unissent entre eux les cartilages du larynx (face antérieure).

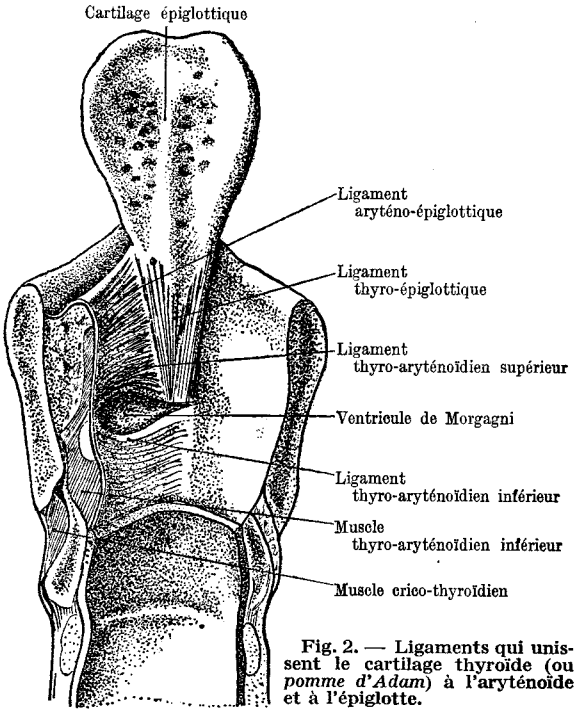

Fig. 2. — Ligaments qui unissent le cartilage thyroïde (ou *pomme d'Adam*) à l'aryténoïde et à l'épiglotte.

sèques, vont du larynx aux organes voisins ; les autres, appelés muscles intrinsèques, appartiennent au larynx en totalité.

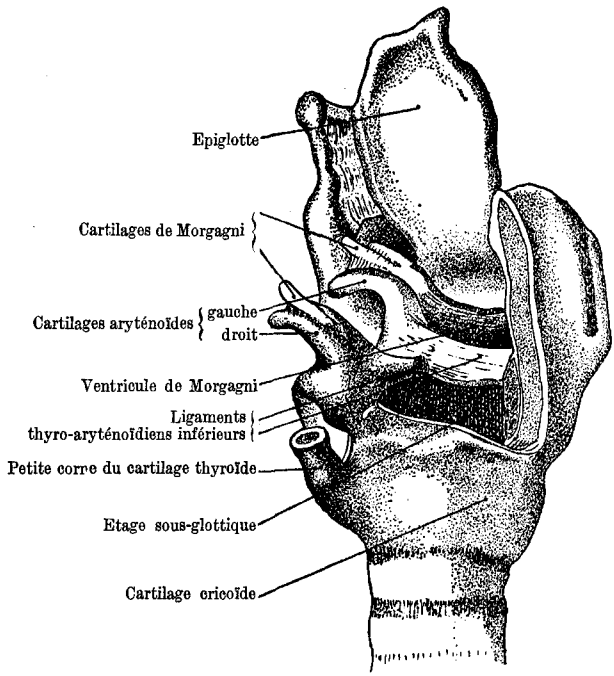

Fig. 3. — Ligaments thyro-aryténoïdiens, vue latérale

Muscles extrinsèques :

1) Muscle *sterno-thyroïdien.* — Aplati, allongé, il s'étend en avant du larynx et du corps thyroïde, depuis le sternum jusqu'au cartilage thyroïde ;

2) Muscle *thyro-hyoïdien.* — Aplati, mince, quadrilatère, il continue le sterno-thyroïdien au-dessus du cartilage thyroïde jusqu'à l'os hyoïde. Le sterno-thyroïdien abaisse le larynx et fixe l'insertion du thyro-hyoïdien qui abaisse directement l'os hyoïde, concourant ainsi à l'abaissement de la mâchoire inférieure ;

3) *Constricteur inférieur du pharynx.* — Il comprend trois faisceaux correspondant à ses points d'insertion : un faisceau thyroïdien, un faisceau crico-thyroïdien et un faisceau cricoïdien. Avec les constricteurs moyen et supérieur, il contribue à rétrécir les diamètres antéro-postérieur et transversal du pharynx (fig. 4) ;

4) Muscle *stylo-pharyngien.* — De l'apophyse styloïde il descend, en s'élargissant, obliquement en bas et en dedans. Il se divise en plusieurs faisceaux terminaux : pharyngien, épiglottique, thyroïdien et cricoïdien. C'est un muscle élévateur du pharynx et du larynx (fig. 4) ;

5) *Pharyngo-staphylin.* — Il appartient à la musculature du voile du palais et comprend un faisceau principal ou palatin et deux faisceaux accessoires, l'un *ptérygoïdien* (inséré sur l'apophyse ptérygoïde), l'autre *tubaire* (sur la trompe d'Eustache) (voir fig. 5). Les trois faisceaux se réunissent en un corps charnu qui descend dans l'épaisseur du pilier postérieur du voile du palais et s'étale sur la paroi latérale du pharynx. Ses fibres antérieures, plus ou moins confondues avec le muscle stylo-pharyngien, se fixent sur le cartilage thyroïde. Le pharyngo-staphylin rétrécit l'isthme pharyngo-nasal, abaisse le voile du palais ; il élève en même temps le pharynx et le larynx.

Muscles intrinsèques. — Ils se répartissent en trois groupes d'après leur action sur les cordes

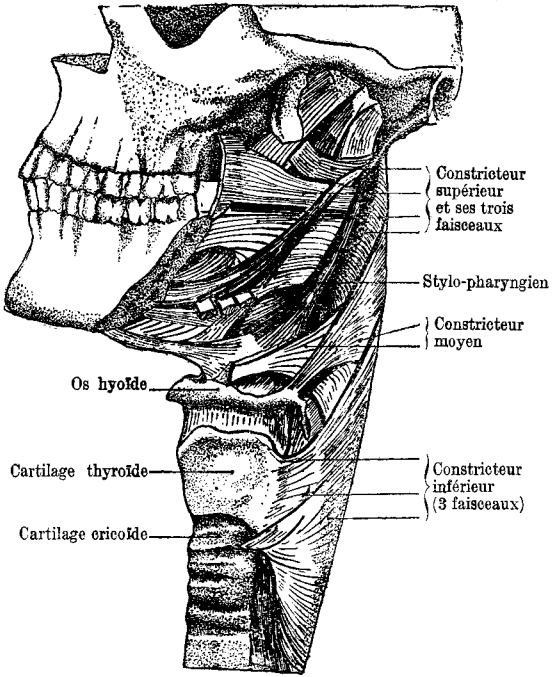

Fig. 4. — Musculature extrinsèque du larynx : *a)* muscles du pharynx (vue latérale).

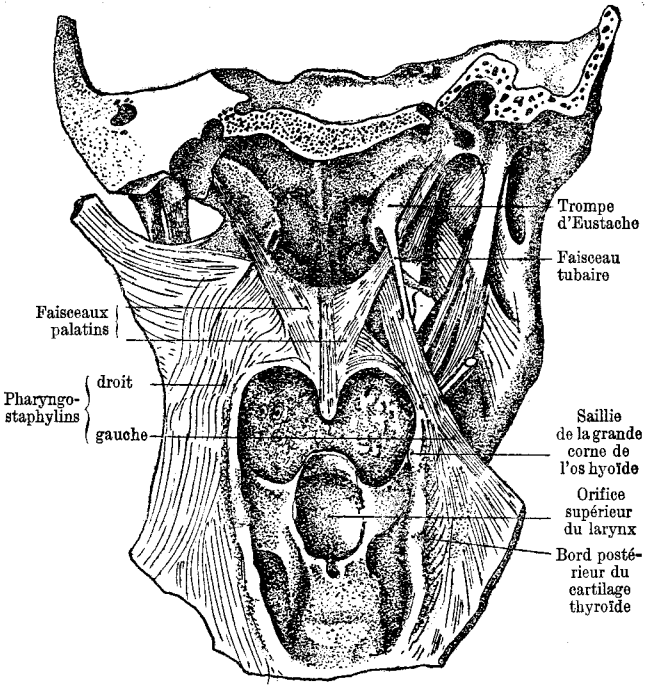

Fig. 5. — Musculature extrinsèque du larynx : *b)* les pharyngo-staphylins (muscles du voile du palais) et leurs trois faisceaux.

vocales et sur la glotte ou espace compris entre les bords libres des cordes vocales.

Ces trois groupes sont :

1) le groupe des *muscles tenseurs* des cordes vocales, représenté de chaque côté par un seul muscle, le crico-thyroïdien, dont l'entrée en action est déterminante dans l'exécution du « passage » du *mi* 3, comme nous le verrons plus loin (pp. 83 et ss.) ;

2) le groupe des muscles *dilatateurs de la glotte*, également représenté de chaque côté par un seul muscle, le crico-aryténoïdien postérieur ;

3) le groupe des muscles *constricteurs de la glotte*, comprenant les muscles crico-aryténoïdiens latéraux, thyro-aryténoïdiens inférieurs, thyro-aryténoïdiens supérieurs (inconstants et grêles) et ary-aryténoïdiens. Tous ces muscles sont pairs, à l'exception de l'ary-aryténoïdien.

Les figures 6, 7 et 8 remplaceront avantageusement une description détaillée.

Configuration intérieure du larynx. — La surface interne du larynx présente de chaque côté, vers sa partie moyenne, deux replis superposés, dirigés d'avant en arrière : la bande ventriculaire et la corde vocale (fig. 9).

La corde vocale, située au-dessous de la bande, va de l'angle rentrant du cartilage thyroïde à l'apophyse vocale du cartilage aryténoïde. Son bord interne, libre, déborde en dedans celui de la bande. Aussi l'examen du larynx normal au miroir laryngoscopique permet-il de voir à la fois la bande ventriculaire et la corde vocale.

La corde vocale comprend dans son épaisseur le ligament thyro-aryténoïdien inférieur et les insertions des différentes fibrilles du muscle thyro-aryténoïdien inférieur (fig. 10).

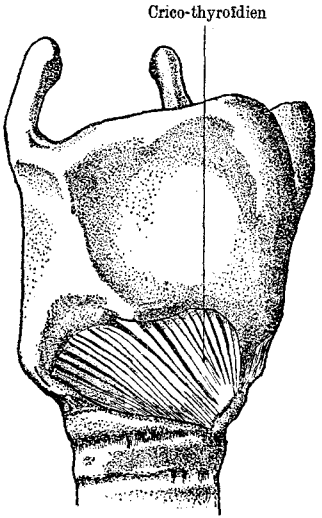

Fig. 6. — Muscles intrinsèques du larynx : le crico-thyroïdien, tenseur des cordes vocales. (Voir p. 85 : son rôle dans l'exécution du « passage ».)

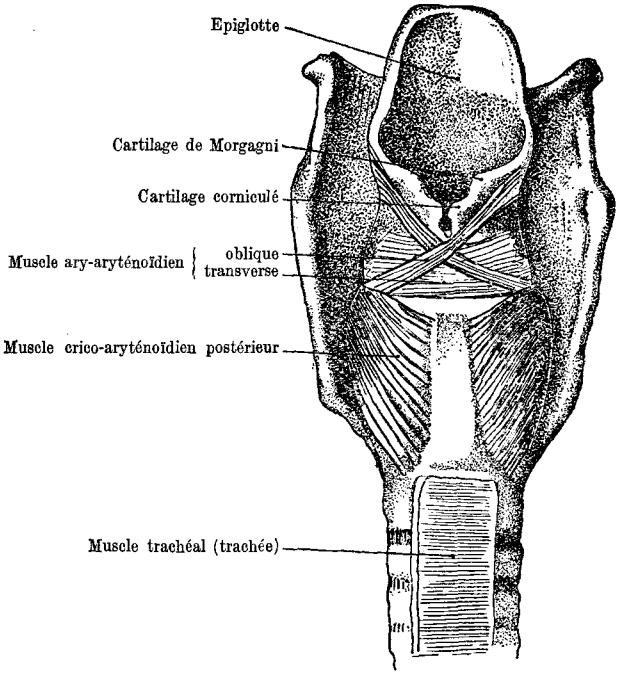

Fig. 7. — Muscles intrinsèques du larynx *(suite)* : le crico-aryténoïdien postérieur (dilatateur de la glotte) et l'ary-aryténoïdien (constricteur).

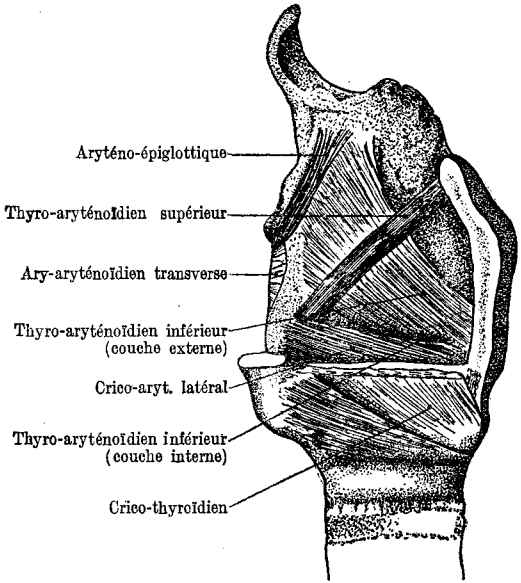

Fig. 8. — Muscles intrinsèques du larynx *(suite et fin)*: ensemble des constricteurs de la glotte.

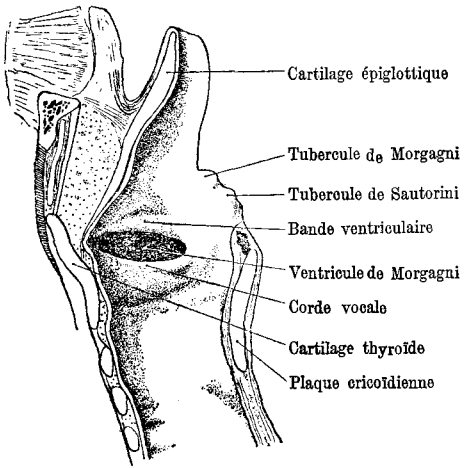

Fig. 9. — Configuration intérieure du larynx (moitié latérale droite).

L'anatomie fine des cordes vocales a été récemment l'objet de travaux importants de la part de Goerttler (1950) et de son assistant Zieger. Des séries de coupes minces faites dans les

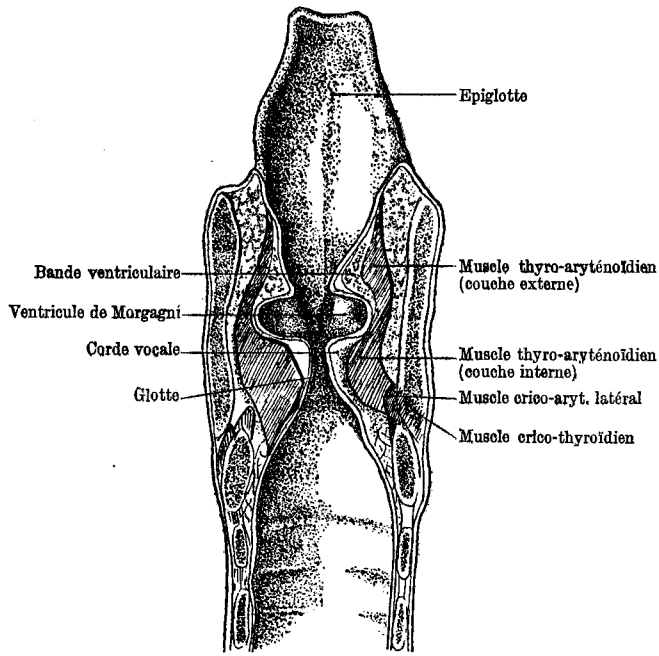

Fig. 10. — Division en trois étages de la cavité laryngée par la bande ventriculaire et la corde vocale.

trois dimensions de l'espace, puis dans des plans inclinés très différemment (obliques vers l'avant, verticaux et obliques par rapport à la fente glottique) lui ont permis de reconstituer complètement le trajet des fibres musculaires : le résultat fondamental de ces recherches est qu'il n'existe pas de fibres parallèles au bord libre de la corde vocale et se rendant du thyroïde aux aryténoïdes.

Les fibres mises en évidence constituent deux systèmes entièrement distincts : l'ary-vocal (Ludwig) et le thyro-vocal,

et elles s'insèrent toutes sur le bord libre de la corde vocale et en dessous, c'est-à-dire sur le cône élastique. Le cône élastique apparaît ainsi comme un tendon.

D'autre part, avec Mlle Röckel, Goerttler a étudié le développement du larynx sur des fœtus humains de quatre à sept mois.

Les premiers muscles à se mettre en place sont l'ary-vocal et l'aryténoïdien transverse ; ils constituent le sphincter primitif, musculature de muqueuse. Les muscles thyro-vocal et thyro-aryténoïdien externe ne se trouvent en place qu'après le cinquième mois ; ils proviennent du squelette. Histologiquement, chaque fibre du muscle ary-vocal primitif se subdivise en fibrilles qui s'insèrent sur le cône élastique comme un réseau à trois dimensions. Cette disposition se retrouve dans le muscle inter-aryténoïdien et dans l'œsophage, c'est-à-dire dans l'ancien sphincter exclusivement ; elle s'apparente étroitement à celle du myocarde. Enfin, les fibres ont une forte teneur en sarcoplasme. L'ary-vocal est puissamment innervé ; chacune de ses fibres reçoit plusieurs nerfs, dont un de gros calibre.

L'étude des fœtus a montré en outre que les couches internes de l'ébauche du larynx proviennent, ou bien directement de l'ébauche du myocarde, ou bien du mésoderme viscéral de la paroi latérale du pharynx qui continue immédiatement l'ébauche du myocarde. Comme le muscle cardiaque, le larynx contient aussi de grosses veines formant plexus dont les parois renferment des fibrilles striées longitudinales et transversales.

Ainsi, la musculature primitive du larynx ressemble morphologiquement au myocarde et elle a la même origine. Bien entendu, le nerf récurrent est à rapprocher des rameaux cardiaques du vague.

Enfin, la ressemblance entre la musculature primitive du larynx et le tissu musculaire du cœur se poursuit sur le plan physiologique. Ces deux muscles ont la propriété curieuse de fibriller, de battre rythmiquement ou de vibrer, en se « clivant ». Sur le cœur, cette particularité a été observée fortuitement vers 1949 par un assistant de M. Strohl. Pour ce qui est du larynx, elle est exploitée dans l'émission de la voix de fausset, comme nous le verrons ultérieurement.

Quoi qu'il en soit, bandes ventriculaires et cordes vocales *divisent la cavité laryngée en trois étages* :

— un étage supérieur ou vestibule du larynx, situé au-dessus des bandes ventriculaires et qui a

la forme d'un entonnoir se rétrécissant de haut en bas ;

— un étage moyen, compris entre les bords libres des cordes vocales ;

— un étage inférieur qui s'étend des cordes vocales à la trachée, en s'élargissant de haut en bas (fig. 10).

La glotte est la partie de l'étage moyen du larynx comprise entre les bords libres des cordes vocales (glotte interligamenteuse ou vocale) et aussi, en arrière, entre les apophyses vocales des cartilages aryténoïdes (glotte intercartilagineuse ou respiratoire).

La forme et les dimensions de la glotte varient suivant que les cordes vocales sont écartées (inspiration), rapprochées ou tendues (phonation). Vis-à-vis de la glotte, les cordes vocales jouent en somme le rôle d'un sphincter : on peut les comparer, avec Husson, à un « anus trachéal ».

De chaque côté de la glotte, entre la bande ventriculaire et la corde vocale, se développe un diverticule : le *ventricule de Morgagni* (fig. 11).

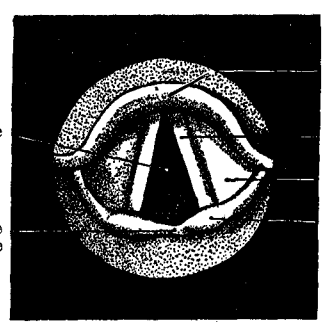

Fig. 11. — Image laryngoscopique pendant l'inspiration

Chapitre II

VOIES ET CENTRES NERVEUX

I. — Anatomie générale

A) **Nécessité actuelle de ces connaissances pour comprendre la phonation.** — Abusé par la comparaison du larynx avec les instruments de musique à vent et à anches (clarinettes, hautbois, saxos, certains jeux d'orgue), on se représentait jusqu'à nos jours les cordes vocales, pendant la phonation, comme formant deux petits bourrelets accolés, périodiquement écartés par la pression d'air sous-glottique et ramenés en contact par la raideur née de leur contraction.

Du conflit entre la pression expiratoire et l'élasticité du sphincter glottique naissait un son d'autant plus aigu que la tension des cordes était plus grande.

Certains faits connus depuis longtemps battaient déjà en brèche la théorie myo-élastique. Ainsi on peut « filer » un son, c'est-à-dire l'amplifier et le diminuer, en faisant successivement croître et décroître la pression sous-glottique, sans que sa hauteur varie. On peut chanter piano dans l'aigu, c'est-à-dire avec une pression sous-glottique relativement faible, bien que l'aigu exige une contraction considérable du sphincter glottique et par conséquent, dans la théorie myo-élastique, une forte pression.

Quand un chanteur passe « en fausset », l'examen stroboscopique montre que le larynx se décontracte. Puisque les cordes se détendent, le son devrait devenir plus grave. Tout au contraire, la voix de fausset sert à « grimper ».

Enfin, les cordes vocales peuvent vibrer sans être accolées. Elles peuvent être détendues, et la voix n'en devient pas plus grave, mais simplement un peu voilée. Les vibrations des cordes vocales ne sauraient donc être *créées* par le passage de

l'air, ainsi que l'ont confirmé les expériences de Laget que nous relaterons plus loin (pp. 99 et ss.). Comme n'importe quel muscle, les cordes se contractent sous l'effet de l'influx nerveux et, suivant qu'on chante ou qu'on parle, les influx de stimulation proviennent soit de l'écorce cérébrale, soit du diencéphale, soit du bulbe.

C'est dire que ni l'anatomie du larynx, ni même sa physiologie, si celle-ci se borne à l'étude du jeu articulaire et musculaire — phénomènes périphériques — ne suffisent à expliquer la physiologie de la phonation. Il faut y adjoindre désormais des notions d'anatomo-physiologie générale du système nerveux, que nous allons exposer très succinctement.

B) **Structure du système nerveux central.** — Le système nerveux central se compose de deux parties encloses chacune dans une enveloppe osseuse : 1) La moelle épinière ; 2) L'encéphale, qui comprend toutes les parties nerveuses contenues dans le crâne.

Cet encéphale est formé de la juxtaposition de pièces fort différentes par leur structure et leurs fonctions. Si l'on ne tient pas compte du cervelet (ou petit cerveau), dont le rôle dans la phonation n'est pas encore élucidé, l'encéphale se décompose de la manière suivante :

Les *hémisphères* forment une énorme masse dont la partie externe, la substance grise ou cortex cérébral, se plisse en circonvolutions.

Les circonvolutions, dont l'ensemble constitue le manteau cérébral, sont d'autant plus nombreuses et plus apparentes que l'être est plus élevé dans la hiérarchie des fonctions psychiques. D'autre part, le cerveau des individus doués de qualités exceptionnelles se caractérise par une asymétrie des hémisphères avec prédominance *gauche* chez le *droitier* et *droite* chez le *gaucher*. Cette asymétrie est congénitale et irréversible. Il est dangereux de s'y opposer : vouloir redresser une gaucherie accusée chez un enfant, c'est risquer de le rendre bègue.

Au centre de chaque hémisphère se trouve un ventricule, réservoir de liquide céphalo-rachidien.

Des sillons profonds, les scissures primitives de Rolando et de Sylvius, divisent les hémisphères cérébraux en lobes qui sont d'avant en arrière : le lobe frontal ou prérolandique, le lobe pariétal ou post-rolandique, le lobe temporo-sphénoïdal, infra-rolandique, enfin le lobe occipital qui forme la partie la plus reculée, le pôle postérieur du cerveau.

La masse hémisphérique enveloppe et domine des formations importantes, les corps striés, le thalamus ou couche optique et l'hypothalamus, dont l'ensemble constitue l'étage sous-cortical et le diencéphale.

Les *corps striés* sont des formations dont les fonctions sont essentiellement motrices. Au contraire, le *thalamus* ou couche optique doit être considéré, avant tout, comme le relais des voies sensitives avant leur épanouissement dans l'écorce cérébrale. Leur destruction est suivie de l'abolition des sensibilités conscientes dans la moitié opposée du corps. Quant à *l'hypothalamus*, c'est, comme son nom l'indique, une formation moins volumineuse que le thalamus et située au-dessous de celui-ci. Cet hypothalamus représente aussi un relais d'influx nerveux, mais d'influx végétatifs, c'est-à-dire relatifs au fonctionnement des viscères et au conditionnement des instincts. N'oublions pas à ce propos que le larynx, d'ailleurs souvent décrit avec cette partie de l'anatomie qu'on appelle la splanchnologie, est dans une large mesure un *viscère* ; que son nerf moteur, le récurrent, vient du pneumogastrique, appareil nerveux à destination purement viscérale ; que sa musculature, au même titre que celle de la langue (Ranson, Winkler), doit être classée comme une musculature viscérale spécialisée. (Cf. travaux de Goerttler, analysés *Supra* pp. 15 et 16.)

Lorsque l'hypothalamus est lésé, soit par un traumatisme, soit par la maladie, des troubles se manifestent dans l'accomplissement des besoins et des appétits organiques tels que le sommeil, la soif, la faim, les désirs sexuels, enfin dans l'humeur, le caractère du sujet. Ce n'est donc pas un hasard si maints dérèglements de la phonation s'accompagnent précisément, à un degré plus ou moins symptomatique, de perturbations des fonctions énumérées ci-dessus — et inversement.

On appelle *tronc cérébral* la partie de l'encéphale comprenant de bas en haut : le bulbe rachidien, la protubérance, les pédoncules cérébraux, la masse grise des corps striés et du thalamus.

Au-dessus du thalamus se découvre l'épithalamus, lequel comprend surtout l'épiphyse ou glande pinéale, dont Descartes faisait le siège de l'âme.

L'épiphyse surmonte *l'aqueduc de Sylvius* qui met en communication le 3e ventricule avec le 4e, situé entre le bulbe et le cervelet et par où circule le liquide céphalo-rachidien.

Au-dessous des formations que nous venons de rappeler, se situent les pédoncules cérébraux, puis la protubérance que surmonte le cervelet, enfin le bulbe rachidien qui se continue avec la moelle épinière.

Au tronc cérébral appartient la formation réticulée, dont nous envisagerons ultérieurement le rôle important vis-à-vis de la vibration des cordes vocales et du tonus du sphincter laryngien dans le chant.

C) **Anatomie du nerf récurrent.** — C'est le nerf moteur du larynx. Il se détache du nerf pneumogastrique ou vague dans la région thoracique supérieure. Le récurrent, encore appelé nerf laryngé inférieur, a une origine, un trajet et des rapports différents à droite et à gauche.

Le nerf récurrent *droit* se détache du pneumogastrique en avant de l'artère sous-clavière. Il contourne cette artère en passant au-dessous, puis en arrière d'elle, et monte verticalement jusqu'au larynx, dans la gouttière que forment à droite la trachée et l'œsophage accolés.

Le nerf récurrent *gauche* se détache du pneumogastrique gauche en regard de la crosse de l'aorte. Il embrasse la concavité de la crosse, en décrivant une courbe à concavité supérieure, et remonte dans une direction verticale, en s'appliquant sur le côté gauche de l'œsophage qu'il accompagne jusqu'au larynx. C'est en raison du trajet en boucle que ces nerfs décrivent avant d'arriver au larynx qu'ils ont été appelés « récurrents ».

Ils se divisent sur les côtés du larynx en plusieurs filaments destinés à tous les muscles laryngés, excepté au crico-thyroïdien qui est innervé par le laryngé supérieur.

Le récurrent contient des fibres destinées aux muscles dilatateurs et des fibres destinées aux muscles constricteurs de la glotte. Les fibres qui commandent la dilatation sont situées extérieurement par rapport à celles qui commandent la constriction ; elles sont donc plus fragiles ; elles sont aussi moins nombreuses, parce qu'il y a moins de muscles dilatateurs que de muscles constricteurs.

Enfin, le récurrent contient en son sein un contingent énorme de fibres sympathiques et parasympathiques. Elles sont même, ces dernières surtout, en majorité. Cette particularité de structure histologique n'est certainement pas sans rapport avec le rôle que jouent les influx végétatifs dans la transmission des influx nerveux phonatoires du nerf récurrent au muscle thyro-aryténoïdien, et dans l'entretien de la contraction tonique du sphincter glottique et du mordant de la voix qui en résulte.

II. — Fonctionnement général

Le système nerveux central est formé par un agrégat de cellules et de fibres nerveuses dont l'élément anatomique et fonctionnel est le *neurone*. Celui-ci comprend un corps cellulaire : noyau et cytoplasme, et des prolongements protoplasmiques de deux types : d'une part, les *dendrites*, multiples et ramifiées, par lesquelles les influx parviennent à la cellule (ces

influx sont dits alors *afférents* et leur conduction, *centripète*) ; d'autre part, le *cylindre-axe* ou *axone*, prolongement unique, qui transmet l'excitation à d'autres neurones ou à un appareil périphérique d'exécution, muscle par exemple (les influx que conduit l'axone sont dits *efférents* et leur conduction, *centrifuge*). L'appareil d'exécution s'appelle un *effecteur* (fig. 12).

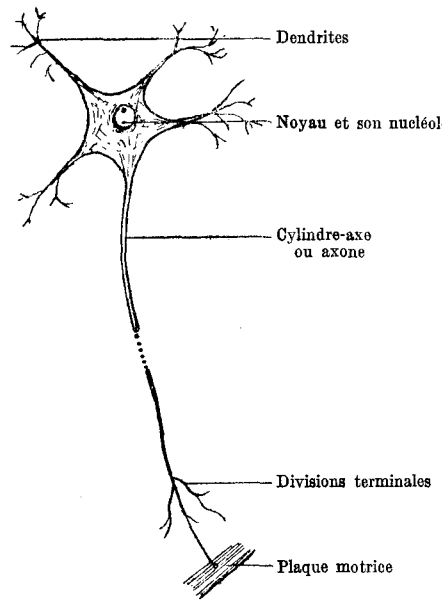

Fig. 12. — Schéma d'un neurone

Contrairement à ce que l'on pensait autrefois, il semble démontré que les neurones sont réellement des individualités, en ce sens que la destruction de l'un d'eux n'entraîne pas, *en général*, la dégénérescence des autres neurones avec lesquels des relations sont établies. Ainsi, les neurones s'articulent entre eux, mais ne fusionnent pas : un cylindre-axe actionne une dendrite ou le corps cellulaire sans qu'il y ait fusion complète de ces éléments. Il existe donc un point d'articulation inter-

neuronique de la plus haute importance physiologique (Sherrington) : ce point de jonction est la *synapse*.

Le processus qui intervient au niveau des synapses pour régler la circulation des influx est évidemment fort complexe et sous la dépendance d'influences multiples. Cependant, il semble que des phénomènes chimiques, et non pas seulement électriques, se produisent dans les synapses inter-neuroniques en activité. Il existerait donc, dans les centres nerveux eux-mêmes (car pour l'articulation neurone-muscle la chose est démontrée), une libération d'une substance définie : un *médiateur chimique* qui accélérerait, faciliterait, retarderait ou même empêcherait le passage de l'influx de neurone à neurone. Ce médiateur chimique ne serait autre que l'acétylcholine. La teneur en cette substance serait elle-même réglée par la production d'une substance antagoniste, la cholinestérase, destructrice de la première (1).

Il faut encore signaler que le passage de l'influx d'un neurone à un autre est subordonné à la *résonance* ou, si l'on préfère, à l'accord fonctionnel des éléments appelés à entrer en action. Ainsi que l'ont montré, dans des travaux qui font époque, L. et M. Lapicque, il est nécessaire qu'un *isochronisme*, c'est-à-dire une même excitabilité en fonction du temps, soit réalisé entre les neurones pour que ceux-ci puissent entrer en action. Or chaque élément nerveux possède une excitabilité en fonction du temps qui lui est propre, à laquelle L. Lapicque a donné le nom de *chronaxie*. Le passage d'un influx à une synapse est encore facilité par l'arrivée à cette synapse, selon des voies afférentes diverses, de toutes stimulations demeurant sous-liminaires (au-dessous du seuil), mais qui contribuent à élever le niveau d'excitation du deuxième neurone.

A) **L'activité nerveuse rythmique en général.** — En 1930, les expériences de Lindemann pratiquées aux Etats-Unis sur le chien avaient montré que lorsque celui-ci donne de la voix au sortir d'une anesthésie à l'éther, le récurrent est sillonné d'influx centrifuges ayant même fréquence que le son de la voix, même rythme que la vibration des cordes vocales. Nous savons aujourd'hui que la voix humaine, qu'elle soit chantée ou parlée, que la hauteur en soit voulue et contrôlée par l'oreille

(1) Stévenin et Amado ont montré que la teneur du sérum sanguin en cholinestérase augmente dans les cas d'hyperactivité de la glande thyroïde. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que cette affection s'accompagne fréquemment de parésie (paresse) des cordes vocales et d'enrouement. L'excès de cholinestérase retarde le passage de l'influx nerveux qui commande la vibration des cordes et, par voie de conséquence, perturbe la phonation.

ou non, est conditionnée, elle aussi, par l'arrivée de salves d'influx récurrentiels sur le larynx.

L'influx nerveux circule, le long des nerfs, sous forme de trains d'oscillations dont les fréquences peuvent atteindre et même dépasser, chez l'homme, un millier par seconde (Fessard, Adrian). La cellule nerveuse apparaît ainsi comme une sorte de transformateur, métamorphosant l'énergie chimique qui lui est fournie continuellement par la nutrition en une énergie électrique se propageant le long des rameaux nerveux selon un processus périodique. L'extrême généralité de ces phénomènes rythmiques, qui sont à la base de nos sensations, de nos mouvements et de notre activité mentale, ne saurait plus être niée ou ignorée.

Le *message moteur*, c'est-à-dire la commande motrice qui part des centres nerveux pour déclencher les mouvements des muscles, est constitué par une salve, un train d'influx qui courent le long des fibres motrices. De même le *message sensoriel* élaboré dans les récepteurs périphériques ou au sein des organes des sens est formé, lui aussi, de trains d'influx qui, le long des fibres nerveuses sensibles, se dirigent vers les centres. La contraction des muscles est d'autant plus ample et soutenue que les influx moteurs qui leur parviennent sont plus nombreux et se succèdent à une cadence plus rapide. La sensation produite est de même d'autant plus vive que les influx sensoriels se suivent à des intervalles plus courts.

Ainsi l'activité périodique paraît être une caractéristique essentielle des fibres nerveuses.

Cependant, lorsqu'on étudie un nerf isolé, qu'il s'agisse d'un nerf de grenouille ou de mammifère, une telle activité périodique est difficile à déclencher. Un nerf isolé ne répond d'ordinaire que par un seul influx à l'excitant électrique. Un influx unique s'observe lors de l'établissement du courant et n'est suivi d'aucun autre, même si l'application du courant est prolongée. Pour déterminer à coup sûr la circulation d'influx successifs dans un segment de nerf isolé, il faut, au moyen d'électrodes appropriées, lui appliquer une succession de courants électriques brefs qui l'excitent périodiquement. On constate ainsi qu'un nerf isolé peut transmettre une suite d'influx à une cadence très vive, de l'ordre de plusieurs centaines par seconde, et qui n'est limitée que par la *période réfractaire* du nerf, c'est-à-dire par le temps très court (quelques millièmes de seconde) qui doit s'écouler après chaque influx avant que la fibre nerveuse soit en état d'en transmettre un autre. Les fibres nerveuses sont donc capables de conduire des influx à cadence rapide, à condition que ces influx résultent d'une excitation directement

appliquée *ou qu'ils prennent naissance soit dans les centres nerveux soit dans les récepteurs sensoriels.*

En résumé, l'activité périodique spontanée ne se manifeste à l'état normal que dans les centres et les récepteurs sensoriels.

Les fibres des nerfs, elles, ne font qu'obéir à l'excitation rythmique qu'elles reçoivent à leur extrémité centrale ou périphérique. Elles se comportent comme une arme à feu non automatique, dont le tireur doit, à chaque coup, presser la détente.

Au contraire, les *centres* présentent une activité périodique entièrement spontanée et automatique. Cette activité, qui traduit soit le simple jeu des échanges cellulaires, soit la vigilance continue de l'appareil nerveux, paraît même, à la suite des récents travaux de Bremer et de son école, être une caractéristique fondamentale des centres nerveux les plus variés. Il n'en faut point chercher l'origine dans des excitations venues des récepteurs périphériques ou des organes des sens. La moelle épinière ou le cerveau du chat, séparés de toutes leurs connexions périphériques, continuent à présenter une activité rythmique spontanée qui leur est indiscutablement propre.

B) **Les facteurs ioniques de l'activité nerveuse rythmique.** — Les cellules de tous les tissus ne peuvent vivre et fonctionner de façon normale qu'à condition d'être constamment irriguées par un milieu salin de composition bien définie. C'est là une loi physiologique générale, entrevue par Claude Bernard, qui fut précisée dans ses détails par le physiologiste anglais Sydney Ringer. Qu'il s'agisse du milieu naturel comme le sang ou la lymphe, ou du milieu artificiel communément dénommé depuis lors liquide de Ringer, certains ions doivent s'y trouver à concentration déterminée.

Parmi ceux-ci doivent surtout figurer le chlore (Cl^-) comme anion, le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et le calcium (Ca^{++}) comme cations. Toute altération de la concentration de l'un d'eux modifie profondément l'activité fonctionnelle.

a) *Le rôle du calcium dans l'activité nerveuse rythmique.* — Pour analyser le rôle joué par chacun des ions précédemment énumérés, la méthode consiste à étudier les modifications fonctionnelles qui surviennent lorsque la concentration de l'un d'entre eux diminue, la concentration des autres demeurant constante.

C'est ainsi que A.-M. Monnier a pu montrer que la tendance à l'activité automatique, que manifestent tous les éléments du système nerveux, s'accroît lorsque la teneur en calcium du milieu environnant diminue.

La baisse du taux de calcium dans le sang provoque de la

tétanie, c'est-à-dire l'activité spontanée (et désordonnée) des cellules nerveuses motrices, d'où contracture permanente des muscles.

Le métabolisme du calcium est soumis à l'action de certaines hormones. Son élimination est accrue par la thyroxine (hormone thyroïdienne) et, indirectement, par l'hormone thyrotrophique de l'hypophyse. Au contraire, les glandes parathyroïdes sécrètent une hormone dont le rôle est de maintenir invariable le taux du calcium dans le sang. En abaissant le seuil rénal pour les phosphates, l'hormone parathyroïdienne entraîne un accroissement de la calcémie. Inversement, l'ablation des parathyroïdes détermine une chute du calcium sanguin et provoque de la tétanie.

Tout se passe comme si les cellules nerveuses avaient une tendance à entrer spontanément en activité : l'ion calcium freinerait cette tendance; l'absence de calcium démasquerait progressivement celle-ci tout en rendant les éléments nerveux plus excitables.

b) *Le rôle du potassium dans l'activité nerveuse rythmique.* — Les recherches faites par Laget et Lundberg en 1949 ont montré que la présence d'ions K à concentration trop forte empêchait également la naissance de l'activité nerveuse rythmique.

Si on diminue progressivement le taux à la fois des ions K et des ions Ca dans le milieu qui baigne le nerf, l'activité spontanée — mais désordonnée — provenant de la décalcification tend à devenir rythmique et toutes les fibres du nerf à se synchroniser sur le même rythme. L'ion K en trop grande quantité masque donc les propriétés rythmiques de l'activité nerveuse et la diminution de son taux fait apparaître la rythmicité.

Il est à remarquer que le métabolisme du potassium, comme celui du calcium, est sous la dépendance d'actions hormonales très précises et qui commencent à être bien connues.

Le taux cérébral du K diminue sous l'influence de certains stéroïdes cortico-surrénaux, désoxycorticostérone notamment, qui accroissent son élimination rénale. Au contraire, après ablation des surrénales, le K cérébral augmente de 24 % (Hoagland et Stone).

La thyroïde jouerait également un rôle dans le métabolisme du K : le taux du K dans le sang varierait parallèlement au métabolisme basal (Boekelman) qui, on le sait, rend compte de l'activité de la thyroïde.

La progestérone (hormone de l'ovaire et des « mères de famille ») ralentit ou supprime la chute du K^+ cérébral et

musculaire ; elle a été utilisée avec un certain succès pour lutter contre l'asthénie musculaire consécutive à cette chute.

Enfin, les excitations expérimentales de l'hypothalamus augmentent le taux du K^+ dans le sang (Bogaert et Meel).

c) *Le rôle du sodium.* — Les recherches de l'école physiologique de Cambridge ont établi depuis une dizaine d'années que l'activité nerveuse en général s'accompagnait toujours d'une rentrée d'ions Na vers l'intérieur du tissu nerveux (nerfs ou centres) en activité. Pour que cette dernière s'effectue dans de bonnes conditions, il est donc nécessaire que la concentration en ions Na soit toujours suffisamment élevée dans les milieux sanguins qui baignent les tissus nerveux.

Or cette concentration est également sous la dépendance d'actions hormonales : certains stéroïdes cortico-surrénaux et la thyroxine ont le pouvoir de l'augmenter.

De ce qui précède, il ressort que les activités rythmiques des centres nerveux de l'encéphale, qui président aux stimulations du récurrent pendant la phonation, dépendent étroitement d'apports hormonaux au niveau des cellules encéphaliques et notamment de certaines hormones cortico-surrénales, des hormones thyroïdienne et parathyroïdienne et de certaines hormones sexuelles femelles (Amado).

Chapitre III

LES NIVEAUX DE STIMULATION RYTHMIQUE DANS LA PHONATION

Nous avons vu plus haut (p. 24) que l'activité périodique spontanée ne se manifeste à l'état normal que dans les centres et les récepteurs sensoriels. Les nerfs ne font qu'obéir à ces excitations rythmiques et les transmettre aux organes périphériques d'exécution, d'une manière en quelque sorte passive. Il nous faut donc étudier quels sont les niveaux encéphaliques de stimulation rythmique dans la phonation. Il y en a essentiellement trois, pourvus chacun de caractéristiques de fréquence propres et de liens réflectifs particuliers : un niveau *cortical*, un niveau *diencéphalique* et un niveau *bulbaire*.

I. — Le niveau cortical dans la phonation

A) **Généralités.** — Dans le chant, et d'une façon générale chaque fois que l'on parle sur une hauteur voulue, la stimulation rythmique initiale est corticale et liée à l'activité de cellules de l'aire électromotrice. Le niveau cortical dans la phonation, c'est le niveau des représentations volontaires et des intentions expressives. Elles jouent, ces dernières notamment qui contribuent à élever le tonus du

sphincter glottique, un rôle considérable dans le chant et nous avons sur leur puissance et leur efficacité cette belle auto-observation de Caruso après une représentation de Carmen, observation qui mêle des traits d'hypnose collective à l'inquiétante peinture d'un dédoublement artistique : « Mais c'est au quatrième acte que j'ai rendu tout le monde fou, pendant le grand duo ; je ne sais pas moi-même d'où me vient cette puissance de voix et ce pathétique. Je crois que cela provient *de mon cerveau* où est gravée la devise : « Avant que tu ne me tues, je te tuerai » ; il en découle que je mets toute mon âme dans ce que je fais. »

Ces représentations intellectuelles variées dépendent de montages neurologiques, d'aiguillages et de métachronoses (changements de chronaxies) qui sont le fruit de l'éducation musicale, se relient à l'histoire du sujet et ont tendance à se reproduire en chaîne, constituant en somme à ce dernier égard la mémoire musicale.

D'une façon générale, l'expérimentation physiologique montre que l'initiative motrice dépend du système parapyramidal ou aire 6 de Brodman qui, en relation avec le système thalamostrié, permet l'utilisation de la motilité automatique à des fins volontaires. De fait, l'excitation de l'aire 6 corticale de Brodman, ou aire prémotrice, déclenche des réponses motrices de la part des effecteurs utilisés par la phonation. A partir de l'aire 6 $a\alpha$ inférieure et de l'aire 6 $b\alpha$, on obtient des mouvements de la bouche (mâchonnement, déglutition, moue). Penfield a même obtenu l'émission d'une voyelle prolongée. On a pu provoquer dans la même région l'arrêt de la phonation. Enfin l'aire 6 $b\beta$, quand elle est excitée, entraîne l'inhibition des mouvements respiratoires. (Voir fig. 13.)

D'ailleurs l'animal privé de son cerveau est aussi privé de tout ce qui demande une initiative quelconque, d'initiative motrice en particulier. Le chat et le chien dont on a extirpé l'écorce cérébrale présentent des réactions affectives très exagérées. Ils manifestent avec une violence extrême la peur ou la colère. Mais cela ne veut dire aucunement qu'ils les éprouvent. En fait, cet excès de manifestations est dû à ce que l'appareil des réactions automatiques de la mimique, l'appareil thalamo-strié, se trouve libéré par l'intervention. Preuve qu'il existe entre ce dernier appareil et l'écorce un couplage étroit, couplage nécessaire car, sans ce contrôle et cette inhibition qu'exerce le cortex vis-à-vis des centres du bas, la phonation ne serait plus qu'un délire émotionnel, comme il l'est encore en certaines occasions chez des malades et chez les animaux. C'est ainsi que l'influence des émotions sur la voix est très marquée chez les aphasiques, parce que leur thalamus est évidemment soumis à un contrôle affaibli des centres corticaux.

Au cours d'une séance de rééducation, une aphasique lit un texte humoristique et il y a des moments où elle rit aux larmes. *La crise terminée*, quand elle reprend sa lecture, le timbre et la tessiture même de sa voix parlée demeurent déplacés vers l'aigu. Nous avons beau le lui faire remarquer, la malade a beau s'en rendre compte, elle ne peut retrouver tout de suite ses intonations habituelles.

Et de son côté, Henri Oberjohan note à propos des réactions des petits chimpanzés vis-à-vis desquels le capteur feint l'indifférence : *bien entendu ces manifestations de folie sont accompagnées de hurlements variés aussi* DISSONANTS *les uns que les autres.*

D'autre part, l'étude de certains cas d'épilepsie,

manifestation pathologique d'origine corticale, montre que les malades ont une grosse difficulté, voire une impossibilité à régler leur voix sur une hauteur d'émission donnée et à tenir la note. Parfois même, il existe des « clonies », des secousses dans la vibration des cordes vocales, des perturbations du rythme

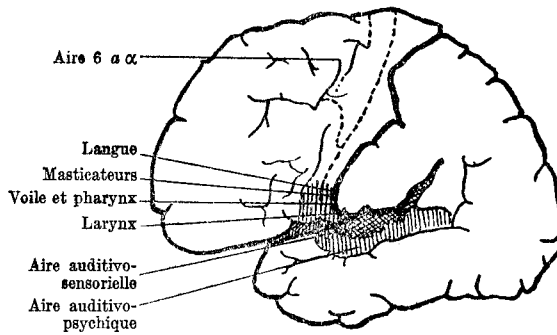

Fig. 13. — Surface latérale du cortex humain (d'après K. BRODMANN) : zones motrices de la phonation et du langage et zones auditives (sensorielle et psychique).

avec des ralentissements et des accélérations, en somme une arythmie vibratoire thyro-aryténoïdienne qui ne fait que refléter, au niveau du larynx, l'arythmie cérébrale qu'on peut lire sur le tracé électro-encéphalographique de ces épileptiques.

Enfin, en cas d'atteinte corticale unilatérale (hémiplégie par exemple), le sujet ne peut moduler aucun son ; sa voix habituelle est très altérée, grave, rauque, monocorde.

Ainsi donc, l'expérimentation, l'observation, la pathologie confirment bien que, dans l'émission de sons à fréquence voulue et tenue, la vibration des cordes vocales est un phénomène lié à l'activité nerveuse rythmique de cellules motrices corticales,

dont elle subit à l'occasion les perturbations fonctionnelles. Mais le fait essentiel est que cette activité est intégrée ou — si l'on préfère — subordonnée à l'activité rythmique des centres corticaux de l'audition.

B) **Liens de niveau cortical entre la phonation et l'audition.** — L'existence de liens entre l'audition et le langage articulé a été notée depuis longtemps. Ces liens peuvent se ramener aux trois suivants :

1) Un enfant né *sourd* ne parle pas : il est également *muet*. La réciproque n'est pas nécessairement vraie.

2) Les troubles de l'audition ont sur le langage des répercussions d'autant plus probables et graves qu'ils remontent plus haut dans la formation du langage. S'ils surviennent avant, l'enfant devient muet : de telles mutités ont été observées jusqu'à sept ans (Gutzmann). S'ils ont lieu au cours de la formation du langage, l'enfant présente, soit un retard à la parole, soit une dyslalie, soit les deux. Si les troubles de l'audition se produisent après que la coordination des mouvements de la parole est acquise, le trouble du langage n'apparaît pas nécessairement, ni tout de suite ; mais, s'ils persistent, on peut noter des altérations progressives du timbre des voyelles et des modifications de l'articulation des consonnes.

Le lien entre la surdité (ou l'hypoacousie) et les phonèmes perturbés est toujours simple : si l'audition est supprimée (ou diminuée) entre deux fréquences n 1 et n 2, les phonèmes altérés (voyelles ou consonnes) sont ceux dont les formants caractéristiques sont compris entre ces deux fréquences.

3) Lorsque, pendant qu'un sujet parle, on lui envoie dans les oreilles un mélange de sons intenses

et graves de façon qu'il ne s'entende plus parler, on constate que le sujet :

a) Augmente considérablement l'intensité de sa voix ;

b) Modifie parfois (mais pas toujours) la tonalité de son émission, vers l'aigu ou vers le grave.

Cette épreuve, employée classiquement pour dépister les surdités simulées (car le sourd authentique ne présente pas de telles réactions) est connue sous le nom d'épreuve d'assourdissement de Lombard, qui en a donné l'interprétation suivante : le sujet, parce qu'il ne s'entend plus, fait des efforts (conscients ou non) pour essayer de s'entendre, et ainsi augmente l'intensité de sa voix.

Nous avons montré avec Husson que cette épreuve n'est pas une épreuve d'assourdissement *stricto sensu*, mais au contraire une épreuve d'hyperstimulation auditive, et qu'elle met en jeu des mécanismes neurologiques particuliers de nature réflective qui seront analysés plus loin (pp. 57 et ss.).

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on supprime, par un bruitage assourdissant, le contrôle auditif de la hauteur tonale, et qu'on demande à un sujet d'émettre un son chanté dans ces conditions, l'expérience montre que la fréquence de la vibration de ses cordes vocales n'est plus tenue. Elle devient instable, elle fluctue avec rapidité (quinze à cinquante fois par seconde) et dans de larges limites. Il en est de même lorsque le sujet ne porte pas son attention sur la hauteur de sa voix : c'est le cas de la conversation habituelle. Il en est de même dans les cas de surdité complète, même limitée à un « îlot » tonal.

Moreaux (de Nancy) a démontré en 1933 que sur un tel « îlot » le sujet détonnait, c'est-à-dire qu'il ne pouvait plus chanter juste sur les fréquences com-

prises dans l'îlot. Autrement dit, quand il y a des trous dans l'audition, il y en a dans la voix, l'inverse n'étant pas nécessairement vrai.

Mais l'expérience directe montre davantage : sous assourdissement, le contrôle de la fréquence de la vibration des cordes vocales reparaît lorsque le sujet fait *un effort volitif suffisamment intense pour se représenter psycho-auditivement la hauteur du son à émettre*. Et Moreaux a rapporté le cas d'un chanteur de grand talent qui fut atteint dès l'âge de quarante-cinq ans d'une surdité complète causée par des lésions scléreuses à évolution rapide. A cinquante-cinq ans, c'est-à-dire après dix ans de surdité, il chantait encore parfaitement juste grâce à une mémoire auditive exceptionnellement développée et cultivée. La représentation mentale de la hauteur d'un son peut donc suffire à régler le rythme des influx nerveux récurrentiels. Elle est susceptible, à elle seule, de déclencher des actes moteurs multiples : fermeture de la glotte, descente du larynx, etc. C'est le « chant intérieur » de Nadoleczny, bien connu des chanteurs, qui savent aussi qu'ils n'atteignent pas leurs notes suraiguës extrêmes par un effort de souffle, mais bien par un effort psychique, intensément volitif, de représentation mentale (auto-observation de Mme Mado Robin, de l'Opéra). La formation volontaire d'une image auditive est donc nécessaire au début de toute production phonique. Cette image comprend non seulement la hauteur, mais encore le timbre du son à émettre. Par la représentation mentale du timbre se trouve déclenchée une série de mouvements d'accommodation du résonateur pharyngo-buccal, qui empruntent les voies nerveuses du facial et du glosso-pharyngien, utilisant des coordinations acquises au cours de l'éducation vocale. Par la

suite, interviennent certainement des automatismes.

On voit, par ce qui précède, tout ce que le « chant intérieur » contient en germe. Sous le rapport de la richesse et de l'efficace, le contenu de la « parole

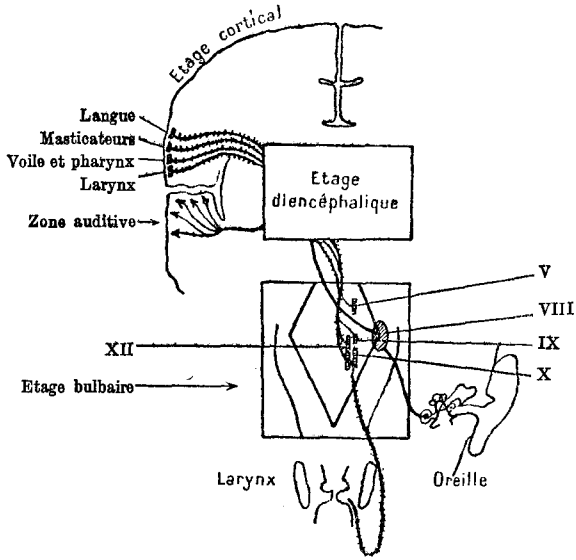

Fig. 14. — Schématisation des niveaux fonctionnels encéphaliques commandant la phonation et les liens phono-auditifs.

intérieure » ne lui cède en rien : au point que certains mimes qui, pour renforcer la valeur expressive de leurs mimiques, ont l'habitude de prononcer *mentalement* un texte approprié, peuvent — consécutivement à leur numéro scénique — éprouver de la fatigue vocale, dont l'origine est plus nerveuse que musculaire puisqu'ils n'ont pas vraiment parlé.

Nous sommes donc fondé à conclure que dans la phonation à fréquence voulue, c'est-à-dire essentiellement dans le chant, les *centres auditifs* du versant supérieur (intra-sylvien) de la première circonvolution temporale réalisent *l'intégration* (au sens de Jackson) des voies motrices corticifuges issues des *centres laryngés* (adducteurs) de l'aire électromotrice. Ces centres, auditifs et laryngés, sont d'ailleurs contigus sur le cortex. (Voir fig. 13.)

De ce fait, on doit conclure à l'existence de voies d'association, reliant les centres auditifs soit aux cellules motrices de l'écorce qui assurent la fermeture de la glotte, soit à un point quelconque des voies motrices qui aboutissent au nerf récurrent. (Voir fig. 14.)

II. — Niveau thalamo-strié et diencéphalique

A) **Rôle de l'affectivité dans la phonation. Humeur, cénesthésies, émotions.** — Leur intervention ne saurait être expérimentalement démontrée. Elle doit être cependant présumée avec toute probabilité, car les inflexions de tonalité de la parole habituelle, leur caractère involontaire, libéré de tout contrôle des centres auditifs, leur cachet affectif particulièrement marqué et, d'autre part, les répercussions vocales bien connues des faits émotifs et endocriniens, ne peuvent s'expliquer en dehors de la mise en jeu du thalamus, des corps striés et du diencéphale. Les particularités phonatoires énumérées ci-dessus ne sont en somme qu'un aspect de la physiologie générale de ces formations nerveuses. Les noyaux opto-striés et le diencéphale ont en effet une importance considérable dans la vie psychologique, mais tandis que le

rôle de l'écorce est essentiellement intellectuel, le rôle de la base du cerveau est essentiellement affectif.

a) Le *thalamus* est, nous l'avons dit, un organe sensitif, mais ce n'est pas seulement un relais pour les voies sensitives qui montent vers l'écorce, c'est un récepteur des impressions corporelles — superficielles ou profondes — de caractère élémentaire. Il ne compare ni ne mesure la sensation, il se contente de régir sa tonalité affective, agréable ou désagréable, douloureuse ou voluptueuse. Sa lésion unilatérale entraîne du même côté du corps une exagération extraordinaire du caractère affectif des sensations, qui sont alors le plus souvent intégrées dans la douleur.

Ainsi dans les syndromes thalamiques, la phonation revêt-elle un caractère gémissant, un aspect de lamentation qui tient à l'exaltation de la composante affective avec, en contrepartie, un déficit de la composante intellectuelle.

Ainsi Head a-t-il montré qu'un thalamique ne sent pas la musique de la même manière à gauche et à droite, et Husson a-t-il pu soutenir que c'est à cet étage des voies cochléo-corticales que les stimulations auditives musicales (qui sont inséparables de toute production vocale à des fins artistiques), se parent de la qualité d'agréable ou de désagréable, et ceci indépendamment de la prétendue consonance ou dissonance du son pris à sa source.

Ainsi s'explique enfin que tous les malaises diffus d'origine organo-végétative et intestinale (ce qu'on appelle les cénesthésies et les cénesthopathies) exercent sur la voix de l'artiste lyrique une action inhibitrice se traduisant par un affaiblissement de l'occlusion glottique, une diminution du mordant de la voix qui devient blanche et détimbrée.

La transmission des états désagréables au cerveau végétatif — comme aussi de la douleur (Leriche) — s'effectue plus spécialement par l'intermédiaire du sympathique, tandis que les états agréables cheminent par voie parasympathique. Or la vie quotidienne et l'équilibre de nos organes sont soumis à l'action balancée de ces deux systèmes, ainsi que l'a montré notamment P. Delmas-Marsalet. Le matin, l'activité organique est régie par le sympathique. Après les repas, il y a hypovagotonie : autrement dit, le vague est paresseux. Mais la nuit, et singulièrement pendant le sommeil, le vague s'active. Comme l'activité vocale est greffée sur ce nerf, on s'explique les difficultés de la phonation le matin où elle est contrariée par la prédominance du sympathique. On conçoit de même qu'il soit malaisé de chanter quand le vague somnole, c'est-à-dire après les repas, et l'intérêt qu'il y a à s'abstenir de manger (surtout abondamment) avant une représentation. On comprend enfin la facilité grandissante de la voix au fur et à mesure qu'on se rapproche de la vagotonie nocturne, et l'influence néfaste de l'insomnie. Le sommeil — en permettant à l'organisme de « faire sa recharge » en influx nerveux vagotonique — est l'auxiliaire irremplaçable du chanteur.

b) Les *corps striés* comprennent deux parties, l'une phylogénétiquement plus ancienne ou pallidum, l'autre phylogénétiquement plus récente ou striatum. Le pallidum tient sous son contrôle l'adaptation tonique des muscles aux diverses attitudes imposées par nos réactions au monde extérieur, et la régulation des mouvements automatiques émotionnels. Sa destruction bilatérale engendre la rigidité musculaire ou hypertonie, la perte des mimiques émotionnelles et de tous ces automatismes

primaires dont l'origine remonte loin dans la série animale.

Le striatum exerce d'une part une action inhibitrice sur le pallidum et les centres moteurs sous-jacents, et d'autre part une action coordinatrice sur certains automatismes moteurs. Sa destruction bilatérale engendre l'hypotonie et l'apparition de mouvements spontanés incoordonnés.

Les répercussions phoniques des émotions, dans leurs aspects laryngoscopiques d'hypertonie ou d'hypotonie, ne sauraient s'interpréter sans faire appel à ces notions élémentaires de physiologie des corps striés qu'avec Jean Delay nous venons d'esquisser.

Les hypertonies peuvent réaliser des aspects d'asymétrie laryngée avec enrouement. J'en ai observé avec Bouche un cas curieux et démonstratif, car, quelques jours après notre examen, la malade subit par ailleurs une intervention sous *anesthésie générale*, anesthésie qui, par son action sur les centres nerveux, suffit à faire disparaître l'asymétrie du larynx et l'enrouement.

Enfin, c'est ici le lieu et le moment de rappeler la théorie strio-pallidale de Seemann, la meilleure explication qui ait été proposée, sinon au bégaiement, du moins au déclenchement de ses paroxysmes.

c) L'*hypothalamus*, ou plus généralement le diencéphale, a pour fonctions essentielles :

— la régulation des oscillations de l'humeur, d'une part ;
— la régulation des oscillations de la conscience (états de veille ou de sommeil), d'autre part.

L'humeur, ou comme on dit encore : l'état thymique, oscille entre deux pôles, l'exaltation ou hyperthymie et l'atonie ou hypothymie. L'exalta-

tion de l'humeur peut se faire dans le sens de la joie, de l'expansion, de l'activité — ce qui à un degré pathologique constitue l'état maniaque — ou dans le sens de la douleur, de l'anxiété, de l'inhibition, ce qui à un degré pathologique constitue l'état mélancolique. L'atonie affective, l'indifférence émotionnelle s'observent à l'état morbide chez les déments précoces dont l'humeur froide est caractéristique.

Et Jean Delay lui-même nous a décrit dans *Les dérèglements de l'humeur*, les voix sourdes, sans timbre des schizophrènes et, en face, les timbres mordants et même métalliques des maniaques.

En maints passages des lettres qu'il écrivit à sa seconde femme Dorothy dans les trois dernières années de sa courte vie, Caruso n'a pas manqué de noter le rôle « facilitant » des émotions agréables, inhibiteur des émotions désagréables, vis-à-vis de la phonation. Il est de fait que la joie et la tristesse ont leur timbre vocal propre et bien différent.

« Heureusement j'étais en bonne forme et de bonne humeur et j'ai gagné la bataille », lui écrit-il après une représentation de l'*Elixir d'amour*.

Et ailleurs : « J'ai commencé dans de très mauvaises conditions, parce que, quand les choses vont mal, je me mets en colère et ma voix en souffre. »

« A la fin du duo, énervé à cause de l'insuffisance de Michaëla, ma voix n'était pas bonne, mais passable. »

Et encore : « Ces deux circonstances [la chaleur et une mauvaise basse comme partenaire] me rendaient nerveux, et je me mets à chanter *Céleste Aïda* avec les yeux fermés et du soleil plein ma figure. Impossible de bien chanter. »

On connaît du reste les voix blanches de l'angoisse, les aphonies déclenchées par les émotions profondes, les voix détimbrées qui précèdent la mort.

Qu'elles soient naturelles ou feintes, les émotions agissent d'ailleurs dans le même sens. La joie ou sa simulation élèvent toutes deux le tonus du sphincter glottique et survoltent le timbre. L'inverse, s'il s'agit de la tristesse. C'est qu'éprouvées ou simulées, les émotions mettent en jeu un mécanisme hypothalamique identique.

B) **Hormones et phonation.** — Nous avons noté plus haut (pp. 25 et ss.), le rôle important que jouent les hormones dans la régulation des métabolismes du calcium, du potassium et du sodium et, par conséquent, dans la genèse et l'entretien des activités rythmiques encéphaliques. Bien que les actions hormonales se fassent sentir à tous les étages qui commandent la phonation, c'est plus spécialement à propos du niveau thalamo-strié et diencéphalique que nous croyons devoir les étudier, en raison de la solidarité qui unit, aussi bien par voie nerveuse que par voie vasculaire, l'hypophyse et l'hypothalamus.

On croyait jusqu'ici, jusqu'au travail fondamental (1) de J.-H. Amado (1952), que seules ou presque les hormones sexuelles, mâles ou femelles, influent sur le larynx et la phonation. C'était ne tenir compte ni du retentissement des glandes à sécrétions internes les unes sur les autres, ni de la notion, établie par Sézary (1925), de syndromes endocriniens communs, ni de la découverte de relais endocriniens qui se surajoutent aux systèmes nerveux cérébro-spinal, sympathique et parasympathique, pour commander avec eux le fonctionnement des organes.

En réalité, ce sont les hormones de toutes les glandes qui agissent sur le larynx et la phonation,

(1) Tableau général des problèmes posés par l'action des hormones sur le développement du larynx, etc., *Annales d'oto-laryngologie*, t. 70, 1953 (nos 2-3), Masson, édit.

mais nous n'envisagerons pas dans ce chapitre la totalité de leurs actions. Nous avons déjà dit la part qui leur revient dans la genèse des activités rythmiques centrales. On trouvera au « classement des voix » ce qu'on soupçonne, à ce point de vue, de leur rôle déterminant.

Nous nous bornerons donc à développer ici l'action des hormones sur la croissance des organes phonateurs et sur l'excitabilité du sphincter laryngien. Nous dirons enfin quelques mots des perturbations vocales qu'entraîne l'hypo ou l'hyperactivité de certaines glandes endocrines, et notamment de ce syndrome tant redouté des chanteurs : le trac, où interviennent, à côté de la glande surrénale, le sympathique et le thalamus.

Action des hormones sur le développement des organes phonateurs

1) *Mue normale.* — Sous nos climats, elle survient en général vers treize ou quatorze ans chez les garçons, un an plus tard chez les filles, dont la voix subit aussi moins de modifications (la vraie mue chez la femme est ménopausique). Le développement des cartilages laryngés et des cordes vocales qui caractérise la mue est en rapport intime avec le fonctionnement des gonades (glandes sexuelles), ainsi qu'en témoigne l'absence de mue en cas d'infantilisme pubertaire, que cet infantilisme soit spontané ou consécutif à la castration. Cependant, si l'ablation des testicules est pratiquée *après* la puberté, elle n'entraîne pas en général de modifications laryngées. La voix aiguë de l'eunuchoïde est un symptôme révélateur d'hypoorchidie spontanée ou acquise, c'est-à-dire de féminisation chez l'homme. Nous avons également observé des cas

de féminisation vocale chez des sujets traités, pour cancer de la prostate, par des hormones femelles (œstrogènes de synthèse). La voix de régime monophasé (voix de poitrine) est un symptôme de virilisme chez la femme ; elle est d'observation courante chez les malades atteintes de cancer du sein et traitées par administration de doses massives et prolongées d'hormones mâles (androgènes).

Pendant la mue normale, on observe des modifications anatomiques au niveau du larynx. En effet, alors qu'à la période pré-pubertaire, les cordes vocales sont minces et translucides, au moment de la mue, on note une hyperhémie très marquée des régions aryténoïdiennes et des bandes ventriculaires. Cette congestion va avoir pour conséquence un développement musculaire important se traduisant à l'examen laryngoscopique par une légère opacité des cordes vocales. Parallèlement, l'épiglotte se relève, les cordes vocales s'allongent, suivant le développement général du corps.

La « voix de castrat », aujourd'hui complètement abandonnée par l'art lyrique, était une voix masculine au timbre féminin, dont la tessiture pouvait présenter, soit l'étendue de la voix de contralto, soit celle de la voix de soprano.

Cette voix de castrat ne doit pas être confondue avec la « voix de sopraniste » qu'on entend parfois de nos jours et qui est une voix de fausset cultivée et étendue (voix travaillant en régime récurrentiel biphasé).

2) *Mues anormales. — a) La mue précoce.* Le type en est fourni par le syndrome de « macrogénitosomie précoce » ou syndrome de Pellizi, qui reconnaît pour origine, tantôt une tumeur de l'épiphyse, tantôt une tumeur cortico-surrénale, ovarienne ou testiculaire.

Les principaux symptômes cliniques sont les suivants :

Accroissement de la taille et ossification précoces ;
Volume considérable des organes génitaux externes, surtout de la verge, un peu moins des testicules ; érections fréquentes ;
Apparition précoce des caractères sexuels secondaires et, chez la fille, des règles ; système pileux très développé ;
Précocité intellectuelle se manifestant dans l'habitus, la mimique, les préoccupations et les propos ;
Enfin développement du cartilage thyroïde et mue précoces.

Tableau qu'illustre remarquablement le cas du grand baryton français Léon Melchissédec, qui écrivait en 1920 : « J'avais la voix faite depuis l'âge de huit ans. Depuis soixante-douze ans, ma voix n'a jamais mué et n'a subi aucune modification. Et je n'ai jamais cessé de chanter. » Des renseignements fournis par sa famille, on peut retenir (avec Amado) : précocité de la mue, virilité exceptionnelle, agressivité et impétuosité, trac, puissance, étendue et timbre claironnant de la voix, tous signes qui orientent vers le diagnostic d'hypercorticosurrénalisme.

Caruso partage avec Melchissédec la faveur d'avoir été un hypersurrénalien. Si la mue de sa voix ne fut pas précoce (mais plutôt difficile), si sa carrière fut sensiblement plus courte (il mourut tuberculeux à quarante-huit ans), on peut relever dans l'histoire de sa vie et dans ses lettres les mêmes signes cliniques d'hyperfonctionnement de la surrénale que chez Melchissédec, la même infatigabilité et, en outre, de brusques variations — en plus ou en moins — de tension artérielle, des migraines et des *accès d'hypertension paroxystique.*

Le cas de ces deux chanteurs (il en est d'autres trop longs à analyser ici ou sur lesquels on ne possède pas de documentation suffisamment précise pour en faire état) nous amène d'ailleurs à penser qu'il n'y a peut-être pas de carrière lyrique *d'exception* sans que l'organisme (et non pas tellement le larynx) du chanteur présente des particularités physiologiques elles aussi exceptionnelles (1).

b) Les mues tardives. Elles s'observent surtout chez les adolescents qui présentent des dysfonctionnements endocriniens : eunuchisme et eunuchoïdisme, ectopie testiculaire simple ou double, dystrophie adiposo-hypogénitale, insuffisance thyroïdienne ou surrénalienne, même légères. Chez ces sujets, la puberté est retardée par ralentissement du fonctionnement des gonades et la voix reste grêle jusqu'au moment où un traitement hormonal bien conduit vient rétablir l'équilibre des sécrétions glandulaires. La mue chantée est également tardive et difficile chez les petits chanteurs professionnels (Maîtrise de la Radiodiffusion française, par exemple), ainsi que le Dr Labarraque et nous-même l'avons remarqué. La raison en est qu'après avoir travaillé longtemps et assidûment en voix de tête ou de fausset (régime biphasé), le larynx de ces sujets éprouve des difficultés à s'adapter au régime monophasé de la voix de poitrine. Inversement certaines chanteuses, à force d'abuser de la voix de poitrine, finissent par perdre leur voix de tête ou de fausset. Cependant la plupart des cas de mue tardive concernent des adolescents dont le larynx a terminé sa

(1) Reconnaître ces particularités (et d'autres) du vivant des grands chanteurs, les « ficher » et centraliser la documentation ainsi recueillie, serait une tâche neuve et fort utile pour les physiologistes, pour les phoniatres, pour l'étude et la conservation de l'art lyrique. Dans ce but, une Association internationale reste à créer.

croissance anatomique et qui n'accusent pas de dysfonctionnement endocrinien évident.

c) Les mues incomplètes et prolongées. — Il s'agit cette fois d'adultes (jusqu'à trente-cinq et quarante ans) dont le larynx a terminé depuis longtemps sa croissance, mais qui n'ont pas mué vocalement. Ces sujets, comme les précédents, sont facilement rééducables ; toutefois deux catégories font exception à la règle :

Les amusiques, qui ne peuvent évidemment pas reproduire les sons avec justesse ;

Les invertis sexuels, qui se plaisent à utiliser une voix de caractère féminin (on a la voix de ses goûts).

La persistance de la voix infantile au delà de la période habituelle chez des adolescents ou des adultes dotés de larynx bien développés, et souvent même de gros larynx, ne s'expliquerait pas si la mue vocale se réduisait à des phénomènes de croissance laryngée. Il s'y surajoute toujours, en réalité, une importante composante neuro-psychique ou endocrino-neuro-psychique. Seuls des troubles de la stimulation récurrentielle, entraînant au niveau de l'effecteur un dérèglement du rythme de contraction des myofibrilles laryngées (travail en régime biphasé) ou encore une timidité invétérée, permettent de concevoir la coexistence, avec une mue somatique normale, d'une mue vocale tardive.

La maturité complète du système nerveux, parce qu'elle détermine celle de l'esprit, des attitudes et des relations sociales, est indispensable à l'établissement de la mue. Remarque qui confirme l'intervention de commandes centrales dans toutes les manifestations comme dans toutes les métamorphoses de la phonation.

3) *Développement du larynx pendant l'adolescence et l'âge adulte.* — Le larynx d'un sujet normal se développe en fonction de son activité vocale. Le développement cartilagineux et *surtout musculaire* du larynx est considérable chez les chanteurs professionnels, les crieurs de journaux, etc. Le cas de Mme Mado Robin, de l'Opéra, qui a un petit larynx de soprano aigu, mais dont les tomographies (1) révèlent des épaisseurs des cordes vocales de l'ordre du centimètre, avec des accolements glottiques proportionnés, en est une illustration probante. Chez la femme, le « poitrinage », lorsque par hasard il est bien supporté par la musculature glottique, aboutit à une hypertonie et à une hyperplasie surprenantes des fibrilles des cordes.

Ainsi, le développement du larynx dû au travail intense se poursuit-il, chez les professionnels, en principe tout au long de leur carrière. A la base du travail vocal se trouve en effet une activation intense du vague ; celle-ci entraîne une accélération des échanges métaboliques au niveau des myofibrilles laryngées, qui provoque à son tour une hyperhémie locale avec développement musculaire accéléré.

Parallèlement à cette stimulation vagale, les influx de voisinage venant des noyaux hypothalamiques du vague excitent secondairement le lobe antérieur de l'hypophyse, d'où hypersécrétion des hormones antéhypophysaires, notamment somatotropes. Le développement du larynx s'effectue donc concurremment au développement somatotropique général de l'organisme ; il est de plus renforcé dans la mesure de son activité fonctionnelle.

A l'appui de cette assertion s'inscrit le cas des ténors qui, débutant dans la carrière comme ténors

(1) Voir pp. 92 et ss.

lyriques, deviennent par la suite et *sans encombre* des ténors dramatiques.

4) *Sénescence de la voix.* — On a identifié jusqu'à présent sénescence de la voix et calcification des cartilages. Pourtant, il ne semble pas que les deux phénomènes aient des rapports entre eux. La calcification des cartilages du larynx apparaît en règle générale vers quarante ans ; elle ne s'accompagne pas obligatoirement de sénescence vocale. Pour qu'il y ait sénescence, il faut nécessairement que le fonctionnement contractile des fibrilles du muscle thyro-aryténoïdien interne soit perturbé. Ces perturbations résultent d'une diminution de leur caractéristique d'excitabilité (chronaxie), elle-même liée à des troubles d'origine locale, centrale ou endocrinienne. Elles traduisent soit une diminution de l'intensité des influx récurrentiels de stimulation, soit un trouble de sécrétion des médiateurs chimiques libérés pendant la phonation.

D'ailleurs, la clinique montre que la sénilité vocale apparaît parfois chez des individus jeunes, avant tout début de calcification du larynx : la syphilis laryngée par exemple donne à la voix un caractère sénile.

A l'opposé, des chanteurs très âgés, dont le larynx est depuis longtemps totalement calcifié, conservent une voix jeune, un timbre inaltéré.

Certes, il arrive souvent que la voix parlée baisse avec l'âge, en même temps que diminue le tonus général ; les exceptions sont cependant nombreuses. Quant à la voix chantée, si l'âge a quelquefois pour conséquence de rendre difficile ou même impossible l'émission des notes élevées, la tessiture n'en est pas déplacée pour autant, elle est simplement tronquée (P. Prudhomme). A soixante-dix ans passés, Battistini, Melchissédec, Ibos, Escalaïs et Lily Lehmann étaient toujours sur la brèche.

Action des hormones sur le tonus et l'excitabilité du sphincter laryngien

1) *Activité musculaire tonique en général et tonus de la glotte : expériences pharmacodynamiques directes.* — L'activité tonique des muscles en général dépend de nombreux facteurs et, parmi eux, des stimulations neuro-végétatives.

Pour Botazzi, le système nerveux végétatif règle la contraction et la décontraction toniques en général.

Pour Danielopolu, l'excitation viendrait du parasympathique et l'inhibition du sympathique, opinion que, sur le plan du larynx et de sa physiologie phonatoire, nous partageons entièrement.

Marinesco estime que le système végétatif agirait sur les terminaisons neuro-musculaires ou sur les plaques motrices par un intermédiaire hormonal ou ionique.

Orbelli a montré que l'excitation du sympathique diminue la fatigabilité et augmente la contraction tonique, probablement par libération de médiateurs chimiques.

Pour Lapicque, l'excitation du sympathique diminue la chronaxie musculaire.

En ce qui concerne le tonus de la glotte (qu'on peut définir — avec Delmas-Marsalet — comme égal au nombre de fibrilles musculaires thyro-aryténoïdiennes qui se contractent simultanément à chaque période vibratoire des cordes), l'excitation du parasympathique crânien, par des substances appropriées, l'accroît ; elle augmente le mordant de la voix et facilite son émission, surtout dans l'aigu (Garde, Amado).

L'administration de prostigmine déclenche, à côté de phénomènes qui traduisent l'excitation géné-

rale du parasympathique, une fibrillation intense de toute la musculature cervico-laryngée chez certains sujets. Le timbre de la voix devient métallique, son intensité s'élève, la tessiture s'étend vers l'aigu. A la fibrillation près, des résultats analogues sont enregistrés lorsqu'on administre de la thyroxine, des extraits cortico-surrénaux, des androgènes ou des paralysants du sympathique, type yohimbine.

La simple compression des globes oculaires qui, on le sait, excite le vague, nous a donné des améliorations voco-respiratoires dans quelques cas de dysphonie, mais les bons effets de la compression cessent avec elle. Enfin, d'après F. Trojan, quand on use de la voix ménagée, les pupilles se contractent (réaction d'excitation parasympathique) ; elles se dilatent (réaction d'excitation sympathique) avec l'usage de la voix de force.

La plupart de ces faits concordent avec l'opinion du Pr J. Lhermitte d'après laquelle le système nerveux végétatif est susceptible de jouer un rôle moteur. Ils traduisent le caractère fonctionnellement viscéral de la musculature du larynx et confirment les constatations récentes de Gœrttler (pp. 15-16) relatives à l'embryogénèse des muscles laryngiens et à l'histologie des cordes vocales.

2) *Physiologie du complexe hypophyse-hypothalamus (Roussy et Mosinger).* — Les actions hormonales sont étroitement liées au fonctionnement du système nerveux végétatif.

Des faisceaux nerveux unissent encéphale et diencéphale, qui envoient des fibres aux lobes glandulaires de l'hypophyse, aussi bien intermédiaire et postérieur qu'antérieur.

Cette solidarité nerveuse de l'hypophyse et de l'hypothalamus se complète par une solidarité vasculaire qui s'établit par leur système porte commun.

Cette complexité anatomique entraîne naturellement l'intrication des mécanismes fonctionnels et la complexité de leur action.

Les hormones de l'hypophyse peuvent stimuler l'hypothalamus

par action *locale* de voisinage empruntant soit les voies de connexion nerveuse, soit les vaisseaux communs. Cette stimulation peut être également réalisée par les autres glandes endocrines, une fois qu'elles ont déversé dans la *circulation générale* leurs produits de sécrétion.

Inversement l'hypothalamus peut stimuler l'hypophyse par les divers faisceaux nerveux qui les relient et provoquer, en réponse, non seulement une sécrétion d'hormones hypophysaires, mais aussi des effets trophiques (certaines tumeurs de l'hypophyse seraient consécutives à des lésions hypothalamiques). D'autres mécanismes peuvent encore intervenir dans le fonctionnement intriqué de l'hypothalamus et de l'hypophyse.

Quoi qu'il en soit, si les sécrétions hormonales sont réglées par le système nerveux, inversement l'activité nerveuse est soumise aux sollicitations hormonales ; elle ne peut s'exercer sans le secours de médiateurs chimiques d'origine endocrinienne. C'est bien à l'hypophyse que s'applique surtout cette remarque de portée générale due à Rémy Collin.

Conclusion. — De l'ensemble des faits ci-dessus rapportés et des observations déjà recueillies, il ressort que les actions hormonales sont un des plus importants facteurs qui conditionnent le tonus et l'excitabilité du sphincter glottique.

Ces actions hormonales pourront s'exercer tantôt par la voie de la circulation générale, tantôt par l'intermédiaire du système nerveux végétatif. Le larynx, organe à la musculature en grande partie viscérale, a une affinité particulière pour certaines hormones, soit du fait que son innervation, comme celle des glandes endocrines, dépend presque exclusivement du parasympathique, soit en raison de la constitution chimique de ses tissus.

Mais les actions hormonales sur la phonation ne sont pas du type sexuel pur, elles sont beaucoup plus générales, pluriglandulaires, et revêtent un caractère neuro-musculaire. Elles ne se manifestent pas uniquement au moment de la mue ou de la ménopause, mais de façon constante et régulière pendant toute la vie active du sujet.

Les stimulations endocriniennes sont des excitants physiologiques de la phonation, inséparables des stimulations centrales et neuro-végétatives qu'elles complètent et modifient à chaque instant. Le phoniatre a le plus grand intérêt à en tenir compte lorsqu'il se trouve en face d'un trouble quelconque de la voix.

3) *De quelques dérèglements endocrino-phonatoires.* — Ils confirment, par le biais de la pathologie, la part qui revient aux hormones dans la physiologie de la phonation. Les faits les mieux connus concernent la glande thyroïde et les surrénales.

a) *Un défaut de sécrétion d'hormone thyroïdienne* survenant chez l'adulte entraîne une extrême pauvreté de modulations dans la voix parlée, des difficultés (ou une impossibilité) à reproduire ou à tenir la hauteur des sons, et un blanchiment du timbre.

b) *L'excès d'hormone thyroïdienne* (maladie de Basedow) déclenche, outre une hyperexcitation du système nerveux et des troubles du sommeil, les perturbations vocales suivantes typiques et souvent retrouvées : une variabilité extrême, d'une minute à l'autre, de la hauteur et du timbre de la voix (ce que certains auteurs ont appelé « un perpétuel état d'émotion vocale ») ; de brusques passages d'une voix de poitrine très grave à des sonorités de fausset caractérisé (qui traduisent un dérèglement chronaxique) ; une fatigabilité vocale rapide comme dans les syndromes phonasthéniques ; à l'examen stroboscopique du larynx, des troubles marqués de la fréquence vibratoire des cordes vocales.

Il est probable que les phonasthénies des hyperthyroïdiens sont dues à l'augmentation du taux de la cholinestérase dans le sérum sanguin (Stévenin et Amado) ; la cholinestérase exerce en effet une action inhibitrice sur l'acéthylcholine, médiateur chimique de l'influx nerveux. Ces phonasthénies sont d'ailleurs remarquablement améliorées par la prostigmine, qui est un anticholinestérasique.

c) *Insuffisance cortico-surrénale.* — Le rôle des glandes surrénales dans l'effort musculaire en général (dont l'activité phonatoire du larynx n'est qu'un aspect localisé) est démontré par des faits simples comme l'asthénie des addisoniens, comme l'effondrement de l'amplitude de la contraction musculaire chez l'animal privé de ces glandes.

Cette démonstration est complétée par la constance avec

laquelle les extraits cortico-surrénaliens restaurent aussi bien la force musculaire de l'addisonien que celle de l'animal surrénaloprive.

Or les surrénales agissent par leurs hormones corticales d'une part et par leur hormone médullaire, l'adrénaline, d'autre part.

L'écorce de la glande surrénale (individualisée sous le nom de glande cortico-surrénale) sécrète trois hormones ou groupes d'hormones :

L'hormone minérale ou désoxycorticostérone, qui conditionne la rétention de l'eau et du chlorure de sodium, tandis qu'elle favorise — nous l'avons vu — l'élimination du potassium. Hormone hydratante, chlorurante : son défaut, chez l'addisonien, entraîne de la déshydratation (en particulier celle des fibrilles musculaires) et la fuite du sodium.

Le groupe des hormones protido-glucidiques ou oxystéroïdes, hormones multiples dont les principales sont les hormones F et E de Kendall, cette dernière mieux connue sous le nom de cortisone. Ces hormones ont pour propriété principale de convertir les lipides et les protides en glucides et d'assurer ainsi le renouvellement des réserves en glycogène, dont le rôle est majeur dans le processus de la contraction musculaire.

Enfin, les hormones androgènes ou « 17 céto-stéroïdes », proches des hormones testiculaires, qui joignent à leur action virilisante celle de favoriser l'anabolisme protidique (1). Comme toutes les hormones viriles, les « 17 céto-stéroïdes » exercent sur le muscle une action sthénique, ils renforcent sa puissance et son fonctionnement.

Ainsi, pour toutes les raisons et en vertu des différents processus brièvement analysés ci-dessus, les trois groupes d'hormones cortico-surrénales interviennent dans le métabolisme glucidique et l'effort musculaire, jusques et y compris, bien entendu, celui de la phonation.

Le type de *l'insuffisance cortico-surrénale* grave est la maladie bronzée d'Addison, dont le symptôme prédominant, l'asthénie, se complique, en s'accentuant, d'une dysphonie bien étudiée par R. Segre. L'épuisement vocal domine : difficulté de crier, d'émettre des sons très aigus, sensation vespérale de constriction laryngée ou même d'inhibition de la parole. Plus tard, la tonalité de la voix baisse, son intensité diminue, tout effort phonatoire est impossible. Enfin, un peu avant la mort de l'addisonien, l'aphonie est totale.

(1) Anabolisme : transformation des matériaux nutritifs en tissu vivant.

Ce tableau pathologique souligne assez que l'écorce de la capsule surrénale contribue à régler le tonus des muscles, notamment en fixant les toxines engendrées par leurs contractions.

d) *Le trac.* — Quant à *l'adrénaline*, produit de sécrétion de la médullo-surrénale et excitant spécifique du système nerveux sympathique, Cannon a *montré* le rôle qu'elle joue dans l'émotion et ceci nous amène à reconsidérer la question du *trac*.

Sans reprendre l'étude faite par Cannon des réactions du chat effrayé, ni la description de leur triple jeu — externe, viscéral et humoral — rappelons ses conclusions :

1° La glande surrénale joue dans la détermination des réactions émotives : l'adrénaline élève la tension artérielle, le taux du sucre dans le sang, celui des globules rouges ; injectée à un sujet, elle provoque chez lui le sentiment qu'il est « émotionné » sans savoir pourquoi.

2° Le système nerveux sympathique intervient également. Le chat qui en a subi l'ablation ne présente, sous le coup de la frayeur, aucun hérissement des poils. Par ailleurs, l'accélération du cœur, l'augmentation de la tension artérielle et du nombre des globules rouges, sont peu accentuées, voire nulles.

3° Enfin, le thalamus tient un rôle important dans l'apparition des manifestations émotives. Normalement freiné par l'écorce cérébrale, il se trouve libéré en cas de suppression du contrôle cortical, ce qui entraîne des réactions émotives prolongées.

Relevons aussi, avec Lapicque, les perturbations des équilibres chronaxiques et, avec Fessard, l'arrêt des ondes cérébrales, que déclenche la peur.

Une telle inhibition neuro-musculaire, quand le trac est assez poussé pour la réaliser, il est superflu

d'insister sur les bouleversements qui s'ensuivent dans la hauteur, l'intensité et le timbre de la voix humaine.

Il arrive heureusement que le trac soit plus léger. Les réactions qu'il déclenche alors et que déclenche aussi l'effort musculaire (accélération du cœur, petite réaction hypertensive, augmentation des globules rouges et du sucre dans le sang, absence de salivation) sont à considérer dans ce cas comme une adaptation instinctive à une situation critique.

« Chaque fois que je chante, disait Caruso, il me semble que quelqu'un me guette pour me détruire, et qu'il me faut combattre comme un taureau afin de me défendre. L'artiste qui se vante de ne jamais avoir le trac n'est pas un artiste : c'est un menteur ou un imbécile. »

Tout se passe alors comme si le sentiment du danger, la réaction adrénalinique qu'il engendre, et l'adaptation spontanée du sujet à ce qui le menace dans son existence (ou sa réputation) constituaient un véritable « arsenal de force » et effectuaient par là même un « doping physiologique » de nature à le préparer à un effort considérable.

Le trac *inhibiteur* appelle naturellement une thérapeutique. Négligeant l'hyperactivité thyroïdienne qui n'est, en toute hypothèse, qu'un épiphénomène secondaire au trac, voici comment nous concevons cette thérapeutique :

a) On peut tout d'abord essayer d'agir sur l'écorce cérébrale, afin de renforcer son contrôle sur la base du cerveau. C'est le rôle de la technique vocale exploitée dans un sens hautement volitif (représentation mentale intense de la hauteur des sons, intentions expressives renforcées), de la mise en scène (s'obliger à une attitude assurée donne de l'assurance), enfin de la psychothérapie.

b) On peut encore modérer l'activité basilaire : ce rôle est dévolu aux barbituriques, dont l'action élective, aux doses usuelles, est très nettement subthalamique ;

c) On peut enfin freiner l'hyperactivité du sympathique, soit en le paralysant, soit plutôt en excitant son antagoniste *relatif*, le parasympathique, par des médications appropriées.

Au vrai, ces divers moyens de combattre le trac se complètent en multipliant les points d'attaque.

III. — Niveau bulbaire

A) **Généralités.** — Il intervient dans la phonation à plusieurs titres :

D'abord un certain nombre de faits et d'observations cliniques montrent qu'il peut suffire, à lui seul, pour alimenter le récurrent en stimulations phonogéniques.

Ensuite, du fait que la substance grise bulbaire contient les noyaux d'origine des fibres motrices des quatre derniers nerfs crâniens (glosso-pharyngien, pneumogastrique, spinal et grand hypoglosse) et les noyaux de terminaison des fibres sensitives des nerfs auditif, trijumeau, pneumogastrique et glossopharyngien (ces deux derniers étant des nerfs mixtes) il s'ensuit que le bulbe est le point de départ d'un certain nombre d'actions réflectives cochléo et trigémello-récurrentielles qui se répercutent sur la phonation.

D'autre part, comme la formation réticulée du tronc cérébral, tout en s'étendant à la protubérance, au mésencéphale (cerveau moyen) et au diencéphale, appartient principalement au bulbe, ce dernier va concourir à l'entretien du tonus général et du tonus laryngien en particulier. Accessoirement, il intervient enfin par voie réflexe dans les effets dynamo-

géniques produits par les stimulations auditives, et qui se répandent sur les racines motrices de tous les étages rachidiens. Ainsi s'expliquent les facilitations des efforts musculaires somatiques déclenchées par les musiques militaires ou les chants rythmés. C'est le cas des grandes mélopées russes (chant des bateliers de la Volga, par exemple) qui aident les efforts exécutés sur les temps forts.

L'intervention exclusive du bulbe dans la phonation semble ne se réaliser, comme le fait remarquer Husson, que dans des conditions très particulières : sous anesthésie générale profonde, après transsection infra-thalamique, en cas de lésions centrales portant sur le cortex et le diencéphale, et peut-être aussi dans la lecture à mi-voix de textes totalement dépourvus de caractère affectif et expressif. C'est-à-dire, en somme, lorsque les fréquences vibratoires des cordes vocales ne dépassent pas quatre-vingt-dix par seconde. Au delà et jusqu'à cinq cents par seconde, les stimulations viennent du diencéphale. Pour la réalisation de fréquences plus élevées, l'intervention du cortex est nécessaire : il faut l'action intégrative du cortex auditif et la volition d'une hauteur donnée, c'est-à-dire la réalisation des conditions neurologiques du chant.

B) **Liens réflectifs de niveau bulbaire entre la phonation et l'audition. Réflexe cochléo-récurrentiel.** — Ces liens ont été découverts très récemment à la suite d'observations personnelles et d'expériences de stimulation musicale du nerf auditif faites en février 1951 par Husson, Garde et Larger.

Nos observations personnelles étaient les suivantes :

1) L'assourdissement d'un sujet qui parle n'entraîne pas les mêmes modifications dans l'intensité, la hauteur et le timbre de sa voix, suivant qu'on le

pratique à l'aide de bruiteurs (comme dans l'épreuve de Lombard) ou de boules Quiès.

2) Il est difficile de contrôler le niveau de sa voix quand on téléphone : beaucoup de gens, *même cultivés*, crient dans l'appareil (effet local de Chavasse). Or, l'écouteur n'est généralement appliqué qu'à une seule oreille. En l'absence d'assourdissement qui, pour être authentique, devrait être bi-auriculaire, les modifications vocales au téléphone ne sauraient être rapportées qu'à un effet réflexe de stimulation auditive (tonalité, sonnerie d'appel, bruits de fond, friture, voix de l'interlocuteur, etc.).

3) L'obturation des conduits auditifs externes produit un effet calmant sur certains états d'excitation relevant de la stimulation du vague.

4) Quelques chanteurs ont coutume — empiriquement — de garder du coton dans les oreilles le jour d'une représentation théâtrale. Ils ne l'enlèvent qu'à leur entrée en scène, éprouvant alors par contraste une sensation de facilitation vocale.

5) Enfin, fait cliniquement décisif, nous avons montré qu'on peut déclencher la stimulation de la voix par l'intermédiaire de l'oreille en utilisant la conduction sonore osseuse et en laissant la voie aérienne totalement libre. Dans ce but, des vibreurs, du genre de ceux qu'on emploie en prothèse auditive, sont appliqués sur les mastoïdes et transmettent au nerf auditif toute une gamme de sons issus d'un générateur de basse fréquence et à intensité réglable. Pendant ce temps, le sujet lit un texte. Dans ces conditions, on note des modifications de la voix du lecteur, presque aussi nettes et dans le même sens que lors de l'épreuve dite d'assourdissement de Lombard. Ces modifications se produisent à partir d'un seuil d'intensité sonore excitatrice légèrement variable avec les individus, mais où il est loisible de

vérifier que le sujet entend encore parfaitement la voix chuchotée de l'expérimentateur, de même qu'il affirme entendre sa propre voix.

On ne pouvait tirer des observations précédentes qu'une conclusion, c'est que l'épreuve de Lombard, au cours de laquelle on envoie dans les oreilles du sujet un son très intense, formé d'un mélange de fréquences graves, est en réalité une épreuve de stimulation auditive intense. Cette stimulation déclenche deux effets :

a) D'abord un effet de masque, bien connu, au niveau de la cochlée (dû à la période réfractaire des fibres excitées) ;

b) Ensuite une excitation réflexe des noyaux moteurs bulbaires, produisant un effet dynamogénique sur la musculature expiratoire de la phonation et sur la contraction des muscles laryngés et périlaryngés. (Voir fig. 14.)

L'existence d'un niveau réflectif bulbaire entre le nerf auditif et les noyaux moteurs des quatre derniers nerfs crâniens était ainsi postulée. Pour la mettre en évidence expérimentalement, il devait suffire d'étudier si une stimulation musicale du nerf auditif provoque au niveau des cordes vocales des répercussions motrices. Pour cela, pendant que l'on observait au stroboscope le larynx d'un sujet émettant un son *de fausset* à hauteur donnée, on stimulait brusquement son oreille (droite ou gauche) par un son de hauteur connue.

Schématiquement, les résultats observés furent les suivants :

a) Cas de stimulations auditives homorythmiques (c'est-à-dire de même fréquence que le son émis) *et unilatérales* :

— si elles sont *faibles*, la réponse est homolatérale ;

— si elles sont *plus fortes*, la réponse est homolatérale, tout en gagnant faiblement la corde vocale opposée ;
— si elles sont *fortes*, la réponse est bilatérale symétrique. Dans le cas d'une stimulation de même fréquence que le son émis, la réponse est constituée par un supplément de contraction de la corde vocale qui répond, par un léger accroissement de l'amplitude *(en fausset)* et par une stabilisation de la fréquence de la vibration observée. Cette réponse est brusque et se maintient tant que dure la stimulation.

b) Cas d'une stimulation à une fréquence sonore voisine (à dix ou quinze vibrations près) *de celle du son émis par le sujet* : les cordes vocales manifestent un arrêt apparent dès que débute la stimulation perturbatrice, aussitôt suivi d'une reprise de la vibration à la fréquence perturbatrice. Il y a ici synchronisation sur cette dernière fréquence.

c) Cas de stimulation à des fréquences sonores très différentes de celles émises par le sujet : la vibration des cordes vocales devient irrégulière et le son émis *(en fausset)* vacille légèrement ; il tend à monter si la fréquence perturbatrice est plus aiguë et à descendre si elle est plus grave. Il y a donc un phénomène de traînage de fréquence, mais l'effet perturbateur est beaucoup moins marqué quand la fréquence perturbatrice est plus grave que le son émis par le larynx.

d) En cas de surdité unilatérale totale (périphérique), quelle que soit l'intensité de la stimulation sonore, la réponse est limitée au côté sain, le seul stimulé en fait.

Puisque les réponses observées au niveau des cordes vocales sont homolatérales, au moins quand

les stimulations auditives sont faibles, c'est que le réflexe déclenché est bulbaire. On doit donc admettre que les influx transmis par le nerf auditif se diffusent dans le bulbe aux noyaux moteurs du vague en état d'activité, soit homolatéraux, soit homo et hétérolatéraux, selon leur intensité. Ils se diffusent aussi de la même façon, bien entendu, aux noyaux moteurs voisins du glosso-pharyngien, du spinal et du grand hypoglosse et aux voies motrices rachidiennes. Ainsi s'expliquent les faits observés au cours de l'épreuve de Lombard, laquelle doit être envisagée désormais sous l'angle d'une épreuve de stimulation auditivo-vocale (Garde).

Les recherches ultérieures de Bouche, Vuillemey, Vannier et Husson (avril 1953) ont montré d'ailleurs que le larynx des « sourds complets » parlants présente une image plus ou moins fortement parétique, laquelle est liée de toute évidence au défaut de stimulations auditives.

Elles ont montré également que des stimulations auditives ultra-puissantes faites sur cent, cent cinquante, deux cents, mille, quinze cents et quatre mille cycles sont susceptibles de déclencher un réflexe cochléo-récurrentiel avec disparition de la parésie laryngée chez des sourds corticaux parlants, lorsque le niveau cochléaire et le niveau bulbaire d'audition sont demeurés partiellement intacts. Cela prouve incontestablement :

1° Que l'élévation de l'intensité de la voix, telle qu'on l'observe dans l'épreuve de Lombard, est un phénomène purement réflexe, indépendant de la volonté, ainsi que de tout effet d'assourdissement ou de masque, puisqu'on peut la provoquer chez des sujets qui ne s'entendent pas et ne se sont jamais entendus.

2° Que le point de départ de ce réflexe est bien

bulbaire, puisqu'il s'est produit chez des sujets dont le niveau cortical d'audition était aboli.

Ce n'est plus parler par métaphore que de dire de l'accompagnement musical qu'il soutient la voix du chanteur. Il le fait d'autant mieux et d'autant plus qu'il est consonant. Si par contre il est dissonant, le chanteur n'est plus entièrement maître de la justesse de ses sons, dans la mesure — prouvée par l'examen stroboscopique — où les stimulations du nerf auditif par des sons différents de celui émis à ce moment là altèrent la fréquence de la vibration des cordes vocales. Dans ces conditions, certains artistes lyriques ont même parfois accusé une gêne allant jusqu'au sentiment de malaise.

C) **Réflexe trigémello-récurrentiel.** — A côté du réflexe cochléo-récurrentiel, on a pu mettre en évidence expérimentalement un autre réflexe de niveau également bulbaire : *le réflexe trigémello-récurrentiel.*

Pendant que le sujet émet un son *de fausset* sous vision stroboscopique du larynx, on a procédé à l'excitation électrique de terriroires intra-buccaux qui reçoivent leur innervation sensitive du trijumeau, notamment entre joue et gencives supérieures au niveau des premières molaires.

Voici les résultats observés pendant la durée de l'excitation :

1° L'accolement glottique en phase vibratoire, normalement incomplet *en fausset*, devient parfait ; le sphincter glottique effectue dans son ensemble un supplément visible de contraction, laquelle devient supérieure à la normale ; l'épiglotte tend à se rabattre sur le larynx.

2° La réponse est bilatérale symétrique.

3° On n'observe aucune modification dans la coloration de la muqueuse laryngo-pharyngée, ce qui exclut une transmission par voie sympathique.

C'est par la mise en jeu du réflexe trigémello-récurrentiel que les « sensations internes » ressenties pendant le chant, au niveau de la cavité pharyngo-buccale et du massif osseux de la face, apportent au larynx un supplément important de contraction tonique. Ces sensations internes, conséquence de l'absorption par voie osseuse d'une part de l'énergie vibratoire sonore qui doit parvenir aux auditeurs, se révèle en définitive éminemment utile au chanteur pour régler la qualité de son émission et déclencher l'exécution réflexe des « passages » de la voix (du grave au médium et surtout du médium à l'aigu).

D) **Le rôle de la formation réticulée du bulbe dans la phonation.** — Il nous reste maintenant à examiner le *rôle indirectement phonatoire de la formation réticulée du bulbe.* Pour le mettre en évidence, Husson, Mlle Ameil et nous-même, avons réalisé au Laboratoire de Physiologie de la Sorbonne les expériences qui vont être relatées.

Un sujet, couché sur le dos et en résolution musculaire complète, émet un son de poitrine ou de fausset, et l'observateur pratique sur lui l'examen laryngoscopique de ses cordes vocales. Un aide éclaire le miroir frontal de l'observateur avec un stroboscope à main et l'accorde à chaque instant sur le son émis. Au moment où l'observateur a une vue satisfaisante de la vibration des cordes vocales, le sujet, sur un signe, soulève légèrement la tête (qui quitte son appui occipital) et poursuit lentement son mouvement de redressement en soulevant le tronc (les épaules quittent leur appui dorsal). Pendant tout le temps que dure ce redressement, le sujet tient la note émise et l'observateur ne perd pas de vue le larynx. Les observations, faites sur des notes d'abord graves (*la* 2), puis de plus en plus aiguës (*ré* 3 et *sol* 3), en voix de poitrine et en faus-

set, sont recommencées plusieurs fois, et le comportement des cordes vocales avant et pendant le redressement est pris en note (1).

Lorsque le sujet *couché* émet les sons *la 2*, *ré 3* et *sol* 3, que ce soit en poitrine ou en fausset, son larynx présente un aspect de parésies diverses : parésie de l'ary-aryténoïdien, parésies de l'adduction ou de la tension. Les cordes accolent mal et vibrent mollement. L'image parétique du larynx est d'autant plus accusée que le son à émettre est plus aigu. Au fur et à mesure que le sujet se redresse, les signes parétiques disparaissent, les cordes se tendent, leur amplitude vibratoire diminue, leur accolement s'améliore.

Ces observations sont à rapprocher des résultats des travaux de Magoun, Moruzzi et Dell. Ces auteurs ont montré que la formation réticulée du tronc cérébral était le lieu de convergence d'influx non spécifiques somatiques et végétatifs, et que son tonus réglait les variations de l'état vigile du sujet et son niveau global d'activité motrice.

Dans les expériences précédentes, quand le sujet se redresse et abandonne ses points d'appui occipital et dorsaux, le maintien des postures des muscles du cou, du tronc et des membres inférieurs déclenche un bombardement d'influx kinesthésiques qui élève le tonus de la formation réticulée et fait varier le niveau de contraction du larynx. Corrélativement le mordant de la voix se trouve renforcé.

Peu marquée dans la voix parlée, cette action dynamogénique de la formation réticulée joue un rôle important dans le chant, qui nécessite une utilisation extensive, répétée et de longue durée, de la contraction du sphincter laryngien.

(1) Pour la numérotation conventionnelle des octaves, voir p. 110.

Nous savons maintenant pourquoi il est difficile à l'artiste lyrique de chanter couché, surtout au-dessus des notes de passage, c'est-à-dire dans l'aigu. Auscultant consciemment et inconsciemment (par nécessité professionnelle) ses sensations, il ne saurait manquer d'être sensible à la chute de tonus qu'entraîne l'obligation scénique où il se trouve de chanter momentanément certains rôles dans une position confortable pour le corps, inconfortable pour la voix. Par contre, le décubitus dorsal, associé à des exercices vocaux appropriés, est avantageusement utilisé quand il s'agit de traiter les syndromes qui s'accompagnent d'effort vocal habituel avec hypertonie ou hyperkinésie du sphincter glottique.

La connaissance des trois niveaux encéphaliques de stimulation rythmique dans la phonation : cortical, thalamo-strié et diencéphalique, enfin bulbaire, n'a pas tardé à porter ses fruits. Elle nous a permis d'esquisser une classification nouvelle des troubles phonatoires. Elle a renouvelé nos conceptions en matière d'étiologie et de traitement des maladies de la voix. A l'ère des inhalations, des badigeonnages, des pulvérisations, des injections de produits variés dans le larynx, est en train de succéder une thérapeutique *centrale*. Le phoniatre utilise de plus en plus largement les médications directement ou indirectement neurotropes, l'électrothérapie du système nerveux et les propriétés des stimuli sonores, en faisant porter leur action autant que possible sur le niveau atteint de dysrythmie fonctionnelle et responsable comme tel du dérèglement de la voix parlée ou chantée. Dans cet arsenal de thérapeutique neurologique, ce ne sont pas les excitants du parasympathique qui occupent la moindre place. Car la musculature du larynx, comme celle du pharynx et de la bouche, étant embryogénétiquement de nature viscérale (Gœrttler), est tributaire d'un énorme flot d'incitations cénesthésiques d'origines organo-végétatives, transmises par le vague, filtrées par le thalamus et conditionnant l'humeur du sujet. Ainsi s'explique pourquoi c'est le vague, le plus grand nerf organo-végétatif de l'économie, qui assure secondairement la motricité du sphincter laryngien, et comment les excitants du vague stimulent à ce point la phonation que la prostigmine, entre autres, nous apparaît comme une « hormone synthétique de la voix ».

CHAPITRE IV

LA RÉPONSE DU RÉCURRENT ET DES CORDES VOCALES AUX STIMULATIONS ENCÉPHALIQUES

I. — La réponse du récurrent aux stimulations encéphaliques

(Registres et passages au point de vue neurologique)

Conduction récurrentielle polyphasée pendant la phonation. — Au nombre des problèmes multiples et nouveaux posés par la genèse encéphalique des influx récurrentiels qui commandent coup pour coup la vibration des cordes vocales, il en est un d'une importance particulière qui peut s'énoncer ainsi : comment le nerf récurrent transmet-il des influx à des fréquences aussi rapides que celles de la voix humaine ?

La fréquence des influx transmis par un filet nerveux est évidemment limitée par la durée de sa phase d'inexcitabilité, dite réfractaire absolue, qui est de deux millièmes de seconde environ pour les nerfs moteurs rapides de mammifères (Erlanger et Gasser).

La conduction ne rencontre donc aucune difficulté (et elle se comprend aisément) pour des rythmes

récurrentiels égaux ou inférieurs à cinq cents par seconde environ, car les influx sont alors séparés par des intervalles supérieurs à la durée d'une phase réfractaire absolue d'un axone moteur du récurrent. Les axones moteurs récurrentiels sont relancés en phase, c'est-à-dire tous dans le même temps, et la fibrillation laryngée est commandée en fréquence par le rythme même des influx récurrentiels.

Mais la voix humaine s'élève bien au delà, puisque le *contre-ut* des soprani correspond à mille vibrations des cordes vocales par seconde et que certains soprani suraigus atteignent le *ré 6* (deux mille trois cents vibrations par seconde).

Stevens et Davis, en 1935, s'étaient trouvés devant le même phénomène pour le nerf auditif, qui transmet des salves régulières d'influx jusqu'à trois mille six cents par seconde, et ils avaient établi expérimentalement que, au-dessus de neuf cents par seconde, les filets du nerf auditif travaillent par roulement biphasé ; puis par roulement triphasé au-dessus de mille huit cents par seconde, et quadriphasé au-dessus de deux mille sept cents par seconde.

Etant donné l'intégration des rythmes récurrentiels à l'activité rythmique des centres corticaux de l'audition, il était naturel de penser que le récurrent présentait la même particularité fonctionnelle avec des paliers multiples de cinq cents par seconde environ. Et en effet, pour l'homme comme pour la femme, la voix de poitrine ne peut dépasser l'*ut* 4 (cinq cents vibrations par seconde), un peu moins pour les voix graves et un peu plus pour les voix aiguës, dont les caractéristiques d'excitabilité diffèrent un peu. La voix de poitrine correspond donc à un régime récurrentiel monophasé, comme l'a fait remarquer Husson. Pour aller plus haut, l'homme

passe en voix de fausset, et la femme en voix de tête, qui correspondraient à des conductions récurrentielles biphasées.

Effectivement, on constate que tous les larynx se décontractent lors de ces passages, ce qui montre bien qu'il n'y a plus que la moitié des fibrilles musculaires pour se contracter simultanément. Les nouvelles voix ainsi obtenues montent jusqu'à la fréquence sonore de mille par seconde environ, observation qui est encore bien conforme au résultat attendu.

Enfin les expériences de Laget, qui seront relatées plus loin (pp. 99 et ss.), ont établi que, pour déclencher une réponse des cordes vocales aux stimulations électriques du récurrent sur des rythmes supérieurs à cinq cents par seconde, l'intensité de stimulation doit être faible. Telle est bien, en effet, la condition nécessaire et suffisante à la naissance d'un biphasage dans le relancement des axones récurrentiels.

Que se passe-t-il chez les soprani suraigus, au niveau du récurrent, lorsqu'elles émettent des sons dont la fréquence est comprise entre mille et deux mille trois cents vibrations par seconde ? C'est à Mme Mado Robin, de l'Opéra, la seule chanteuse qui ait jamais atteint le *ré 6* dans l'histoire du chant, qu'il appartenait de fournir la réponse.

L'étude de sa voix a montré d'abord que sur toute sa tessiture, les cordes vocales vibrent. Même dans le petit registre suraigu, improprement appelé registre « de sifflet », elles ne se contentent pas de laisser s'écouler l'air comme les lèvres quand on siffle ; elles vibrent encore et toujours (Garde).

Elle a révélé d'autre part qu'il existait un second passage vers *ut dièse 5* (onze cents périodes par seconde) et un troisième en parvenant au *sol dièse 5* (seize cent cinquante par seconde). Les trois pas-

sages se font donc sur des hauteurs tonales qui sont des multiples de cinq cent cinquante environ, ce qui correspond à une excitabilité récurrentielle élevée comme on pouvait l'attendre d'un soprano (Husson).

L'observation stroboscopique directe du larynx montre encore que, au moment où s'effectuent les passages, la musculature du sphincter glottique se décontracte de façon très sensible. En effet, le nombre des fibrilles travaillant en phase diminue à chaque palier et l'artiste le ressent nettement.

Par ailleurs, les tomographies (Djian) du larynx de Mado Robin montrent que l'épaisseur des cordes vocales et la profondeur de leur accolement diminuent aussi lors de ces passages.

Ainsi donc l'existence de passages et de registres dans la phonation traduit tout d'abord une nécessité neurologique. Ces passages s'accompagnent en outre d'une réaction exercée par le résonateur pharyngo-buccal sur la vibration des cordes vocales (cf. p. 88).

II. — La réponse des cordes vocales aux stimulations encéphalo-récurrentielles

Les trains d'ondes électriques, partis du cerveau, descendent, nous l'avons vu, le long du récurrent et viennent atteindre les cordes vocales. Comment ces dernières vont-elles répondre aux stimulations encéphalo-récurrentielles ?

Remarquons d'abord que les influx qui atteignent les trois muscles interaryténoïdiens vont amener une puissante fermeture de la glotte par accolement des cartilages aryténoïdes. Cette fermeture sera renforcée par l'action des influx qui iront assurer la contraction des muscles crico-aryténoïdiens latéraux.

Mais l'action vibratoire proprement dite sera réalisée par les salves d'influx qui viennent activer, lorsque l'accolement des aryténoïdes est réalisé, les fibrilles musculaires du thyro-aryténoïdien interne. Lorsqu'un influx parvient à ces fibrilles, elles se contractent et par conséquent ont tendance à écarter les cordes vocales sans que les cartilages aryténoïdes se déplacent sensiblement. C'est dire que la glotte manifeste un début de phase vibratoire d'ouverture.

Lorsque les cordes vocales sont ainsi décollées, la pression sous-glottique s'insinue entre elles et poursuit la phase vibratoire d'ouverture. La réaction élastique qui naît alors dans les thyro-aryténoïdiens internes contractés les ramène à l'accolement.

Lorsque les cordes sont revenues à l'accolement, elles y restent jusqu'à ce qu'un nouvel influx récurrentiel vienne tomber sur l'ensemble des fibrilles thyro-aryténoïdiennes et ainsi décoller à nouveau les cordes vocales.

Ces phénomènes ont été bien observés par P. Laget dans ses expériences sur le chien : le décollement des cordes vocales était très net à l'arrivée de chaque influx sur le larynx.

Le mécanisme de fixation de la fréquence du son laryngien par la fréquence des influx récurrenriels est donc extrêmement simple.

A) **Régime de réponse monophasé.** — Ce mode de réponse du larynx aux stimulations récurrentielles est de règle et ne présente pas de difficulté, tant que le nombre des influx ne dépasse pas quatre cent cinquante ou cinq cents par seconde environ (fréquence qui correspond approximativement à l'*ut 4* ou *contre-ut* des ténors). Les fibrilles du muscle thyro-aryténoïdien interne se contractent alors *en même temps* et tirent par conséquent *en même temps*

sur leurs insertions contenues dans le bord libre des cordes vocales. Un tel régime de travail fibrillaire est dit *monophasé* ; et c'est ainsi que se réalise la *voix de poitrine*, aussi bien chez l'homme que chez la femme.

B) **Régime de réponse biphasé.** — Quand la FRÉQUENCE des influx est de quatre cent cinquante ou cinq cents par seconde, les fibrilles du thyro-aryténoïdien interne sont en état de tétanos à peu près complètement aplati, si bien que le phénomène de vibration — ou alternance de contractions et de décontractions — devient impossible, car chaque nouvel influx ne fait qu'aggraver un état de contracture permanente.

M. P. Laget, dans ses expériences, a montré que le larynx répondait cependant coup pour coup *si l'*INTENSITÉ *de la stimulation récurrentielle était assez faible.* On est alors en droit d'invoquer un phénomène analogue à celui signalé jadis par Stevens et Davis dans le fonctionnement du nerf auditif : le *déphasage* de certains axones récurrentiels et des *fibrilles laryngées* correspondantes. Un influx donné ne contracte *grosso modo* que la moitié des fibrilles du thyro-aryténoïdien interne, tandis que l'influx suivant vient déterminer la contraction de l'autre moitié. Le larynx assure donc une fréquence vibratoire qui est égale à la fréquence globale, mais *ses fibrilles musculaires se divisent en deux groupes qui répondent par roulement une fois sur deux.*

On comprend que la réalisation d'un tel régime biphasé coïncide avec :

a) une stimulation volontaire beaucoup plus faible qu'en régime monophasé (voix de poitrine) ;

b) des cordes vocales beaucoup moins contractées (en principe, moitié moins) ;

c) un rappel à l'accolement beaucoup plus faible,

c'est-à-dire une phase d'accolement des cordes beaucoup plus courte.

C'est précisément ce que l'on observe à l'examen stroboscopique du larynx pendant l'émission de la *voix de fausset des hommes* et de la *voix de tête des femmes*.

Au surplus, il est remarquable que les femmes aussi bien que les hommes ne puissent monter leur voix de poitrine au delà de quatre cent cinquante à cinq cents par seconde (un peu moins pour les basses et les contralti, et un peu plus pour les ténors et les soprani).

Autre remarque : en régime biphasé, la limite extrême aiguë est obtenue quand chaque groupe d'axones atteint la fréquence quatre cent cinquante à cinq cents, ce qui fait neuf cents à mille pour la réponse laryngée globale. Or l'expérience montre en effet que la voix de fausset de l'homme ne va jamais plus haut que l'*ut 5*, non plus que la voix de tête des femmes. (La limite est un peu plus grave pour les basses et les contralti, et un peu plus aiguë pour les ténors et soprani.)

C) **Régimes triphasé et quadriphasé.** — La même analyse permet de comprendre que, lorsqu'une soprano quitte sa voix de tête pour entrer dans le « petit registre », elle passe alors en régime triphasé. Ce phénomène est présenté par quelques chanteuses très rares : Mado Robin, Erna Sack, Yma Sumac, etc. Certains professeurs de chant ont cependant déclaré l'avoir observé chez des sujets jeunes et au début de leurs études vocales, mais la plupart de ceux-ci finissent par perdre l'usage de leur troisième registre.

Mme Mado Robin, de l'Opéra de Paris, possède même un quatrième registre vocal qui va, chez elle, du *la 5* au *ré 6*. Elle est la seule dont la voix soit

connue comme présentant cette particularité, qui en fait la « soprano sopranissimo ». Nous avons pu l'observer avec Husson en 1951 et constater (répétons-le) non sans de grandes difficultés expérimentales, que ses cordes vocales vibraient sur toutes les fréquences, et avec une morphologie vibratoire inchangée (hormis bien entendu une réduction de l'amplitude, qui est physiologique).

CHAPITRE V

EXPÉRIMENTATION MODERNE SUR LE LARYNX

I. — Laryngoscopie

L'intérieur du larynx fut examiné pour la première fois par Levret en 1743. Mais ses essais, de même que ceux de ses successeurs, restèrent sans écho et le véritable promoteur de la méthode laryngoscopique fut le chanteur espagnol Manuel García (frère de la Malibran) qui, en 1854, à Londres, réussit à voir ses propres cordes vocales en se servant d'un petit miroir de dentiste et en s'éclairant à l'aide de la *lumière solaire* réfléchie par une glace. L'introduction de la *lumière artificielle* comme source d'éclairage (Czermack) fit faire un grand progrès à la laryngoscopie.

Le miroir, après avoir été chauffé pour éviter la condensation de la buée respiratoire, est placé contre la luette, incliné à 45° environ sur le plan du larynx ; il en résulte que l'image obtenue de la cavité est « relevée » : les parties antérieures du larynx apparaissent en haut du miroir ; la zone postérieure, en bas. (Voir fig. 11.)

La vue du larynx n'est possible que sur la voyelle é et la langue tirée, pour élever l'épiglotte. *Les conditions d'examen sont donc en partie artificielles.*

D'autre part, elles excluent la vision du relief. Seules les images stéréoscopiques permettent de se rendre compte de l'obliquité des cordes vocales, qui est de 9 à 12° par rapport à l'horizontale (Garel, Freund).

Quand on regarde le larynx au miroir, on aperçoit d'abord l'épiglotte dont la forme varie beaucoup et qui masque très souvent la vue de l'extrémité antérieure des cordes vocales.

En avant de l'épiglotte, la base de la langue ; latéralement, les replis glosso-épiglottiques.

La cavité du larynx est délimitée en arrière par les replis ary-épiglottiques, les cartilages de Wrisberg, les aryténoïdes et la commissure interaryténoïdienne.

En inspiration large, l'image de la glotte est celle d'un triangle dont les côtés correspondent aux cordes vocales et dont la base est limitée par les aryténoïdes. Dans la profondeur, on aperçoit la trachée, ses anneaux et parfois même la bifurcation des bronches.

En phonation, pendant l'émission du phonème é, les cordes vocales normalement rectilignes, d'un blanc nacré, à bords réguliers, sans sécrétions, dirigées d'avant en arrière, viennent en contact sur la ligne médiane ainsi que les cartilages aryténoïdes. Et les cordes restent en contact tant que dure la phonation. *Il ne faut donc pas prendre leurs mouvements grossiers d'écartement et de rapprochement qui déterminent l'ouverture et la fermeture de la glotte* (et qui sont *les seuls mouvements observables en laryngoscopie ordinaire*), *pour des vibrations génératrices de sons.* L'adduction et la vibration des cordes vocales sont deux actes indépendants. Il peut y avoir rapprochement sans vibration et vibration sans rapprochement. La maladie peut dissocier ces

deux actes. L'adduction relève de la physiologie respiratoire du larynx, tandis que la vibration des cordes vocales n'intéresse que la physiologie phonatoire du larynx. C'est pourquoi les diverses modifications de forme et d'accolement des cordes vocales qu'on peut noter à l'examen laryngoscopique courant ne sauraient servir à expliquer la genèse de la voix de tête ou de poitrine par exemple. Sous le rapport de la phonation, elles n'ont aucune valeur significative. *La vibration des cordes vocales, phénomène fondamental de la phonation, ne peut être saisie qu'à l'observation stroboscopique.*

II. — Stroboscopie

Les vibrations des cordes vocales se produisent en effet à une cadence qui varie de 1/64 de seconde pour le *do 1* jusqu'à 1/2.300 de seconde pour le *ré 6*. De son côté, la rétine ne peut saisir séparément les impressions lumineuses qui se succèdent à des intervalles plus petits que 1/5 de seconde. Pour analyser les mouvements périodiques rapides, il faut donc recourir à une méthode d'optique qui les ralentisse en apparence. Cette méthode est la stroboscopie.

Examinons par exemple les cordes vocales d'un sujet en train d'émettre le *la 3* (*la* du diapason) : elles effectuent quatre cent trente-cinq battements à la seconde. A leur aspect flou, nous *devinons* qu'elles vibrent, mais nous ne les *voyons* pas vibrer. Pendant ce temps, par l'intermédiaire d'un miroir frontal, projetons à l'intérieur du larynx un faisceau lumineux réglé à quatre cent trente-six éclairs par seconde. Tout se passe alors, pour notre œil, comme si les cordes vibraient une fois par seconde ; leurs vibrations deviennent visibles et analysables. En Science, le progrès des connaissances est presque

toujours subordonné à celui des moyens d'investigation.

Le stroborama des frères Séguin est utilisable dans le grave jusqu'au *la 1*. Dans l'aigu, il atteint l'*ut 5* (mille quarante-quatre v. d.) ce qui est plus que suffisant puisque des éclairs à une fréquence sous-multiple de celle à observer peuvent convenir parfaitement. Il est doté d'un éclairage puissant qui assure une excellente visibilité du larynx. On l'accorde à volonté sur le son émis par le sujet, en agissant sur un bouton de réglage.

Son emploi est inséparable de toute recherche en matière de physiologie de la phonation. Il a permis de fixer, au prix d'observations nombreuses, répétées et particulièrement méthodiques, le comportement vibratoire des cordes vocales quand on file un son, quand on chante en voix de poitrine ouverte ou couverte, en fausset, quand on effectue la couverture du son au passage du *mi 3* (hommes), enfin quand on change de voyelle ou de couleur de son à hauteur et pression sous-glottique constantes.

MODES VIBRATOIRES NORMAUX

A) **Sons filés.** — On appelle son filé, un son attaqué pianissimo, enflé progressivement en intensité jusqu'au fortissimo, puis ramené progressivement jusqu'au pianissimo, en gardant toujours la même hauteur d'émission et, autant que possible, le même timbre vocalique.

Nous ne rapporterons pas le détail de nos observations faites en 1950 sur Husson pour étudier comment se comportent les vibrations des cordes vocales en voix de poitrine ouverte, puis couverte, lorsque la pression sous-glottique croît, la hauteur d'émission restant constante.

Nous donnerons tout de suite les *conclusions* :

1) *Quand on augmente l'intensité* d'un son de hauteur constante, *en voix de poitrine ouverte :*

— la phase de rapprochement *vibratoire* des cordes devient plus ferme et plus longue ;
— l'amplitude, ou élongation maxima de la corde, diminue (elle est donc plus petite dans le forte que dans le piano) ;
— l'apparition d'une très légère « composante verticale » (voir p. 83) dans le forte n'est pas constante chez tous les sujets.

2) *Quand on augmente l'intensité d'un son* de hauteur constante, *en voix de poitrine couverte :*

— la phase de fermeture devient également plus ferme et plus longue, quoique toujours un peu moins que dans le son ouvert de même hauteur et de même intensité ;
— l'amplitude, ou élongation maxima de la corde, diminue (elle est donc plus petite dans le forte que dans le piano) et elle demeure toujours plus petite que celle du son ouvert de même hauteur et de même intensité.

En voix de poitrine couverte, aucune composante verticale n'apparaît jamais, même dans le forte.

3) *Quand on tente d'augmenter l'intensité d'un son* de hauteur constante, *en voix de fausset :*

— l'occlusion de la glotte, en phase de rapprochement vibratoire des cordes, déjà incomplète sur un son piano, devient encore moins bonne, laissant entre les cordes une fente elliptique plus large ;
— l'amplitude, ou élongation maxima de la corde, augmente ;

— la « composante verticale », qui intéresse le bord libre de la corde, devient plus large et plus haute.

L'expérience montre que l'on ne peut pratiquement pas filer un son de fausset. Si on essaye de le faire, le poumon se vide tout de suite faute d'une suffisante fermeture glottique et le son augmente à peine d'intensité. De plus, il tend toujours à baisser légèrement de hauteur.

4) *Eclat ou « mordant » du timbre du son émis :* il est déterminé par la perfection et la durée de l'accolement des deux cordes vocales en phase d'occlusion.

B) **Sons de poitrine ouverts émis à des hauteurs croissantes.** — L'obervation de la vibration des cordes vocales pendant l'émission de sons de poitrine ouverts (c'est-à-dire pour une basse jusqu'au *ré 3* inclus, pour un baryton jusqu'au *mi 3* inclus et pour un ténor jusqu'au *fa 3* inclus) aboutit aux constatations suivantes :

1) En phase de fermeture, les cordes vocales reviennent en contact sur toute leur longueur, assurant une occlusion complète de la glotte.

Ce rappel et cette occlusion sont de plus en plus énergiques à mesure que la hauteur du son croît.

Sur les sons ouverts les plus aigus, dès le *ré 3*, les cordes, boudinées et accolées pendant la phase d'occlusion, présentent en corrélation un relief fortement bombé.

2) La phase de fermeture paraît plus longue dans l'aigu que dans le grave.

3) L'amplitude vibratoire, ou élongation maxima d'une corde, atteint 2 mm.,5 dans le grave et diminue progressivement dans l'aigu. Elle n'est plus que de 1/3 mm. sur la dernière note ouverte la plus aiguë.

4) Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur, l'amplitude maxima se situant toujours très près de la région aryténoïdienne.

5) La région aryténoïdienne participe à la vibration de la corde, davantage dans le grave que dans l'aigu. On voit nettement les deux petits mamelons aryténoïdiens vibrer avec le reste de la corde vocale. La partie intercartilagineuse de celle-ci vibre donc.

6) C'est toute la masse de la corde qui s'écarte en phase d'ouverture maxima, donc qui participe à la vibration.

7) La note ouverte la plus aiguë correspond au maximum de contraction de tout le sphincter laryngien. On observe également une contraction intense de toute la musculature extrinsèque du larynx et même du pharynx, et l'épiglotte tend à se renverser sur le larynx.

C) **Sons de poitrine couverts émis à des hauteurs croissantes.** — L'expérience montre qu'il est dangereux de monter en voix de poitrine ouverte plus haut que *ré 3* pour une basse ; *mi bémol* ou *mi 3* pour un baryton ; *mi 3* ou *fa 3* pour un ténor. Ces limites varient d'ailleurs un peu selon les voyelles émises et suivant l'intensité de leur émission.

Si le sujet veut continuer à monter en voix de poitrine, il effectue un « passage » et « couvre le son ». Cette dernière appellation traduit les sensations internes ressenties par lui dans la cavité bucco-pharyngée.

Pendant l'émission des sons couverts, depuis le passage jusqu'à la limite supérieure de la voix de poitrine couverte, les phénomènes constatés sont les suivants :

1) En phase de fermeture, les cordes reviennent en contact sur toute leur longueur, assurant une occlusion complète de la glotte. Ce rappel et cette

occlusion sont de plus en plus énergiques à mesure que la hauteur du son croît.

Pendant leur phase d'occlusion, les cordes vocales ont cependant perdu l'aspect boudiné et le relief bombé qu'elles présentaient sur la dernière note ouverte.

2) La phase de fermeture semble plus courte et moins ferme que sur le dernier son ouvert, mais sa longueur paraît croître dans l'aigu.

3) L'amplitude de la vibration est plus petite que pour les sons ouverts, et elle diminue encore dans l'aigu.

4) Les cordes vibrent toujours sur toute leur longueur ; mais, à mesure que l'on se rapproche de la limite supérieure de la voix, leur partie postérieure (aryténoïdienne) vibre moins fort que le reste. De sorte que dans l'aigu extrême, seule la partie antérieure des cordes (les 2/3 environ) paraît participer à la vibration.

5) En phase d'ouverture maxima, c'est toute la masse de la corde vocale qui s'écarte, donc participe à la vibration.

6) Pendant la vibration, le thyro-aryténoïdien interne est toujours contracté et assure le rappel de la corde à sa position d'accolement. Toutefois, le reste de la musculature laryngée et péri-laryngée marque une certaine détente par rapport aux sons ouverts précédents, et l'épiglotte se relève.

D'autre part, la corde vocale elle-même paraît plus rigide, et son bord libre plus tendu, que pendant l'émission des sons ouverts. Cela correspond au fait que, lors du passage, le crico-thyroïdien s'est contracté brusquement.

Dans l'aigu extrême, la contraction générale de toute la musculature laryngée et péri-laryngée réapparaît.

D) **Sons de fausset.** — Il y a lieu de distinguer le fausset ordinaire ou *véritable* de celui qui correspond à une variété de voix de poitrine où la vibration des cordes se réduit à une portion antérieure plus ou moins longue de celles-ci.

Le timbre de ces deux voix est assez voisin, bien que la vibration « réduite » de poitrine donne un son généralement un peu plus mordant que la véritable voix de fausset. Mais ce qui les différencie avant tout, c'est que le son de poitrine à vibration réduite peut être filé normalement, *tandis qu'un son de fausset ne peut l'être.*

Cette distinction établie, voici ce que la stroboscopie du larynx permet d'observer dans l'émission des sons de fausset.

1) En phase de fermeture, il n'y a jamais occlusion complète de la glotte, sauf dans la quinte suraiguë (octave 4 pour le baryton examiné).

2) En phase d'élongation maxima, les cordes s'écartent toujours beaucoup plus que dans le son de poitrine de même hauteur. Du grave à l'aigu, cette amplitude maxima va cependant en diminuant sans cesse.

3) Les cordes vocales vibrent toujours sur toute leur longueur, mais la région aryténoïdienne vibre toujours beaucoup moins qu'en voix de poitrine et uniquement dans le grave. Dès l'octave 3, la région aryténoïdienne ne vibre plus, ou presque plus. L'amplitude maxima est alors atteinte vers le milieu de la glotte interligamenteuse.

Dans le suraigu, le fort accolement de la région aryténoïdienne paraît s'étendre, peu à peu, à une certaine partie des cordes vocales elles-mêmes et, finalement, dans la tierce suraiguë, les 2/3 antérieurs paraissent seuls vibrer, avec une amplitude d'ailleurs extrêmement réduite (1/4 de mm.).

4) En phase d'ouverture ou d'élongation maxima, c'est toute la corde vocale qui s'écarte de la ligne médiane, et non pas uniquement son bord libre. Cela prouve qu'en voix de fausset comme en voix de poitrine, c'est la totalité de la corde vocale qui vibre (et non pas uniquement son bord libre).

5) Le bord libre de la corde présente, de plus, une petite *composante vibratoire verticale*. Mais il ne s'agit pas d'une vibration proprement dite, d'une vibration active comme celle qui animerait des anches membraneuses. En phase d'ouverture maxima le bord libre, insuffisamment tendu ou insuffisamment rigide, est bien soulevé et redressé mais par le courant d'air, et de plus il ne retombe pas complètement à l'horizontale quand les cordes se rapprochent.

D'ailleurs dans l'octave 4, cette prétendue « composante verticale » disparaît.

6) En voix de fausset, le rappel de la corde vocale vers la ligne médiane est beaucoup plus faible qu'en voix de poitrine. Il est même si faible que l'occlusion complète de la glotte ne se réalise plus. Preuve qu'en voix de fausset, ou bien le thyro-aryténoïdien interne n'est plus qu'en état de contraction tonique *de repos*, ou bien *une partie de ses fibres seulement* est en état de *contraction volontaire*.

D'ailleurs, pour passer du son de fausset au son de poitrine de même hauteur, il faut faire un effort de volition marqué, qui s'accompagne, au niveau de la glotte, d'une sensation caractéristique de constriction.

E) **La couverture du son au passage du « mi 3 » (hommes)**. — L'exécution du passage du *mi* 3 chez l'homme a une importance primordiale dans le chant, bien que certains professeurs (et même certains laryngologistes) aient prétendu que la voix

« ne devait pas présenter de passage » en montant une gamme sur une voyelle ouverte, è ou a par exemple.

Or, comme le fait remarquer Husson, il n'y a que deux façons de supprimer le passage :

Ou bien continuer à ouvrir les sons jusqu'à la limite supérieure de la voix, c'est-à-dire inhiber, par une action volontaire puissante et soutenue, l'exécution réflexe de la couverture du son qui tend à se produire.

Ou bien, monter la gamme en faisant intervenir graduellement la contraction active du crico-thyroïdien.

Le premier procédé n'est pas sans danger pour le larynx et il est d'observation courante qu'ouvrir des sons au-dessus de la limite normale favorise la formation de nodules.

Le second procédé satisfait à une solution théoriquement parfaite de la question. Connu et utilisé depuis longtemps, il consiste, en pratique, à préparer l'exécution de la couverture du son en assombrissant progressivement celui-ci deux ou trois tons avant la hauteur normale du passage.

Ainsi le changement de timbre au moment de la couverture du son se trouve-t-il atténué. Les barytons et ténors légers, en le répartissant sur plusieurs notes avant et *après* le passage, arrivent même à le dissimuler entièrement.

Mais l'observation montre que ce dernier procédé, qui est le fait de musculatures laryngées très assouplies comme on en rencontre chez les artistes lyriques de carrière, ne supprime pas le passage. Il ne fait que le rendre acoustiquement inapparent.

Si l'on demande à un chanteur de monter lentement une gamme sur la voyelle **a**, quelle que soit l'homogénéité de sa voix, la palpation du thyroïde

révèle toujours qu'en un point de la gamme, ce cartilage vient à basculer en avant. La bascule du thyroïde permet de situer le passage et le chanteur ressent alors *les « sensations internes » si caractéristiques de la couverture du son.* La brusquerie constante avec laquelle cette bascule se produit montre assez qu'il n'est pas possible de réaliser d'une façon graduelle la contraction active du crico-thyroïdien. Faire disparaître *progressivement* des phénomène neuro-musculaires (ceux de la couverture du son) qui, par essence, apparaissent *brusquement*, une telle prétention reste entièrement du domaine de la théorie.

L'expérience montre en effet que le muscle tenseur des cordes vocales, le crico-thyroïdien, dont l'entrée en action caractérise l'exécution du « passage », accuse toujours assez fortement son premier degré de contraction quand on monte une gamme. Au surplus, cette contraction intervient pour tous les types de voix en régime monophasé (voix de poitrine) sur trois cents périodes par seconde environ (fréquence vibratoire qui correspond à peu près à *mi bémol 3*), c'est-à-dire au moment où chaque influx nerveux du récurrent doit venir mordre sur la phase réfractaire relative du précédent. La réponse vibratoire des cordes vocales est alors plus difficile. Il faut, pour la faciliter, que ces dernières reçoivent du crico-thyroïdien (lors du passage) un effet de traction dont le résultat (d'ailleurs valable pour tous les muscles étirés en général, ainsi que l'a montré jadis Lapicque) est de diminuer la chronaxie, *d'accélérer la réponse vibratoire du larynx.* Le sujet gravit ainsi plus facilement les plus hauts degrés de sa voix de poitrine (s'il s'agit d'un homme) ou de tête (s'il s'agit d'une femme).

Historiquement, c'est vers 1825 que ce méca-

nisme vocal particulier semble avoir été découvert en Italie. En tout cas, il y fut utilisé par les forts ténors de l'époque avant d'être introduit en France. Dans la terminologie professionnelle, on l'appelle la « couverture du son », expression que les Italiens traduisent par « voce coperta » et les Allemands par « gedeckte stimme », qui signifient la même chose.

Ainsi, de quelque point de vue qu'on considère le passage, son existence est un fait inéluctable. Et son exécution soigneuse assure à la voix chantée, avec l'homogénéité de sa tessiture, aisance et solidité ; elle est le meilleur moyen de prévenir la fatigue vocale.

Nous allons examiner maintenant en détails ce qu'on observe lorsqu'un chanteur passe d'un son ouvert à un son couvert sur la même note et sous vision laryngo-stroboscopique. Les notes choisies ont été successivement *ré 3*, *mi bémol 3*, *mi 3*. Le sujet émettait un è ouvert ensuite changé en é fermé ; puis un é fermé ensuite changé en è ouvert, et il les émettait en voix de poitrine intense.

Dans ces conditions, en passant de l'è à l'é, on pouvait noter ce qui suit :

1) Le sujet ressent une sensation nette de détente au niveau du larynx.

2) L'épiglotte se relève et la visibilité de la partie antérieure de la glotte s'en trouve améliorée.

3) Le thyroïde bascule en avant, sous l'effet de la contraction active, brusquement apparue, du crico-thyroïdien.

4) Les apophyses vocales des aryténoïdes baissent légèrement de niveau.

5) L'amplitude de la vibration des cordes vocales subit une réduction légère, mais nette.

6) Les cordes vocales paraissent recevoir un supplément de rigidité.

7) Le modelé des cordes vocales, pendant leur vibration, arrondi et boudiné sur le son ouvert, devient plus aminci et plus rubané sur le son couvert.

8) Aucune composante verticale du bord libre n'apparaît.

9) En phase de fermeture, la glotte se ferme toujours sur toute sa longueur, mais le temps d'accolement vibratoire des cordes vocales paraît être devenu un peu plus court.

Les faits n^{os} 1, 2 et 9 établissent qu'au moment de la couverture du son, il y a détente ou décontraction plus ou moins marquée des thyro-aryténoïdiens externe et interne. Mais en même temps apparaît la contraction active du crico-thyroïdien, et c'est elle qui explique les autres faits relevés.

En somme, l'intervention de la contraction active du crico-thyroïdien, sous stimulation volontaire ou réflexe, constitue l'essentiel de la couverture du son. Nous y reviendrons.

F) **Le comportement vibratoire des cordes vocales quand le timbre varie en dehors du passage.** — Nous avons étudié le comportement des cordes vocales dans la phonation en faisant varier successivement d'abord l'intensité d'un son (fonction de la pression d'air sous-glottique), puis sa hauteur, les autres caractéristiques du son restant à chaque fois, *dans toute la mesure du possible*, constantes.

Nous l'avons étudié ensuite quand le timbre varie seul et en un point particulièrement important de la tessiture : le passage du *mi 3*.

Comment se comportent les vibrations des cordes quand le timbre d'émission varie *en dehors du passage*, telle est maintenant la question que nous nous proposons d'aborder.

Les observations qui s'y rapportent ont présenté

une difficulté spéciale : en effet, l'examen laryngoscopique n'est facile que sur la voyelle é fermée, qui élève un peu le larynx et redresse l'épiglotte. Sur è ouvert, il l'est déjà moins, car l'épiglotte tend à s'abaisser. Sur toute autre voyelle, cet examen est encore plus difficile et parfois même impossible, soit parce que la langue recule, soit parce que l'ouverture labiale se referme plus ou moins.

Quoi qu'il en soit, deux sortes de variations de timbre, en voix de poitrine, ont été réalisées par le sujet d'expérience (baryton) :

1) le changement d'une voyelle ouverte (è) en une autre voyelle ouverte (eu ouvert, o ouvert, a) ;

2) le changement d'une voyelle ouverte (è) en une voyelle fermée (eu fermé) ;

Et nous avons expérimenté sur les notes *la 2*, *ut 3* et *ré 3*.

Les conclusions de nos observations peuvent s'exprimer dans la loi suivante :

Lorsqu'on change, dans le sens indiqué ci-dessus, le timbre d'un son émis à hauteur et intensité constantes, l'amplitude de la vibration des cordes vocales augmente, la rigidité générale du larynx et des cordes diminue, le sujet ressent de plus une sorte de facilitation de son émission.

Ces modifications résultent de la réaction qu'exercent les résonances pharyngo-buccales sur la vibration des cordes vocales (effet d'impédance de Husson).

Elles tiennent au changement de forme ou de volume des cavités buccale ou pharyngée et sont liées à des phénomènes d'ordre acoustique (par exemple, changement dans le numéro d'ordre des harmoniques du son laryngien renforcés) dont l'analyse déborderait le cadre du présent volume.

Elles s'atténuent à l'approche du passage du *mi 3*

pour la raison bien évidente que c'est à ce niveau que toute la musculature du sphincter glottique, extrinsèque et intrinsèque, manifeste sa contraction maxima, donc résiste le mieux aux effets de la réaction du résonateur pharyngo-buccal. A vrai dire, cette réaction est alors maxima ; elle ferait même cesser l'émission du son, si elle n'était annihilée par l'entrée en action du crico-thyroïdien qui, en faisant basculer le thyroïde en avant et en bas, tire sur les insertions antérieures des cordes vocales et diminue ainsi l'amplitude de leur vibration.

G) **Le vibrato, modification périodique de l'amplitude vibratoire des cordes.** — De 1933 à 1937, Husson avait souvent observé des inégalités d'allure régulière dans les amplitudes successives de la vibration des cordes vocales sur un son tenu de hauteur et d'intensité constantes. Bien que de tels phénomènes soient à la limite de ce qu'il est raisonnablement possible d'apprécier avec le stroborama, nous avons été assez heureux pour en vérifier récemment l'existence sur l'auteur lui-même.

Le sujet émet un son de poitrine ouvert sur *la 2* et *ré 3*, puis un son de poitrine couvert sur *fa 3*. Il en maintient constantes la hauteur et l'intensité. A l'examen stroboscopique du larynx, on voit les vibrations des cordes se succéder ainsi : une ample, une moins ample, une ample, une moins ample, etc.

Les différences d'amplitude sont de l'ordre du 1/2 mm. pour chaque corde.

Quelle que soit la hauteur du son émis, le rythme aperçu est toujours le même : c'est un rythme binaire.

Quand le son émis par le sujet, ou celui du stroborama, se modifie un peu en fréquence, les battements vus au stroboscope perdent toute régularité, et on ne peut plus rien conclure.

Ces faits prouvent qu'au cours d'une même période d'un son chanté, l'amplitude de la vibration des cordes subit une modification périodique régulière.

Le lien de ce phénomène avec le vibrato est certain. Le vibrato de la voix est dû à des variations périodiques de l'intensité du son émis ; leur rythme est de l'ordre de quatre à huit par seconde et elles s'accompagnent parfois d'une variation de la fréquence. Mais ce second phénomène correspond au trémolo ou chevrotement. Il a un caractère subsidiaire et même pathologique, tandis que le vibrato existe normalement dans toutes les voix de théâtre, quand elles sont puissantes.

L'obervation attentive montre sans difficulté que l'ordre de succession des amplitudes : une forte, une faible, une forte, une faible, etc., coïncide avec le rythme du vibrato, les maxima d'intensité correspondant aux temps faibles de l'amplitude.

MODES VIBRATOIRES PARANORMAUX ET PATHOLOGIQUES (GÉNÉRALITÉS)

Nous n'avons décrit jusqu'ici que des modes vibratoires normaux : la santé générale et vocale des sujets observés était bonne, ainsi que la qualité artistique de leur émission. A l'exception du fausset, les sons qu'ils chantaient étaient susceptibles, par élévation de la pression sous-glottique, d'atteindre à une grande puissance.

Si l'on examine par contre des malades de la voix, des sujets dont l'état général est altéré, des chanteurs dont la phonation est artistiquement médiocre ou qui ne sont pas capables d'émettre des sons puissants, leurs cordes vocales présentent alors des modes vibratoires qu'on peut qualifier d'anormaux.

Cependant, ils ne le sont généralement pas d'emblée et, au début de leur apparition, il peut arriver que leur caractère soit simplement paranormal ; leur réversibilité, par une thérapeutique d'exercices appropriés, est encore entière.

Modes vibratoires anormaux et paranormaux sont donc difficiles à distinguer dans leur principe. Ils traduisent par ordre de gravité croissante, soit des atteintes locales du larynx, soit des atteintes centrales.

Le trouble le plus bénin est celui qui frappe l'amplitude de la vibration, en général d'une seule corde (hypotonie).

Puis c'est la forme même de la vibration, tantôt d'une corde, tantôt des deux, qui paraît modifiée. Atteinte qui se traduit soit par un défaut d'occlusion du sphincter (surtout dans les sons piano) avec diminution de mordant du timbre, soit par une modification de la phase d'ouverture, soit par une réduction de la portion vibrante des cordes, soit par un comportement anormal de toute la masse cordale.

Ensuite viennent les altérations de fréquence vibratoire, portant sur tout ou partie de la tessiture, et la genèse du trouble change d'étage : elle n'est plus périphérique, mais névritique, ou bulbaire, ou centrale.

Enfin même, une corde ou les deux peuvent cesser de vibrer et — sauf lésion massive de l'effecteur laryngien ou des conduites nerveuses — c'est l'indice d'une atteinte neurologique aux étages les plus élevés de stimulation rythmique.

L'étude détaillée des modes vibratoires paranormaux et pathologiques déborde un peu le cadre de cet ouvrage et nous ne pouvons l'y entreprendre.

III. — Tomographie

C'est un procédé radiographique qui permet, grâce à des artifices de technique, d'effacer des clichés les éléments situés en avant et en arrière du larynx (notamment l'ombre de la colonne vertébro-cervicale). On obtient ainsi, dans un plan de coupe choisi et déterminé, une image du larynx de face dont on peut comparer la moitié droite et la moitié gauche.

L'application de la tomographie à l'étude de la fonction phonatoire du larynx a été inaugurée en 1938 par Canuyt, Gunsett et Greiner. Reprise en 1949 par Luchsinger pour étudier le passage de la voix de fausset à la voix de poitrine couverte (et inversement), elle a fait enfin l'objet, en 1951, d'un mémoire de Husson et Djian, mémoire très complet et établi dans des conditions méthodologiques rigoureuses.

Le sujet (baryton d'Opéra-Comique à forte musculature laryngée) et le plan de coupe restant les mêmes, l'étude tomographique du larynx en phonation s'est effectuée en faisant varier un à un, et isolément, les divers facteurs de la voix : hauteur, intensité, voyelle, registre.

Dans ces conditions, la lecture comparative des clichés tomographiques aboutit à un certain nombre de constatations générales.

1) *La constriction générale de la musculature laryngée* s'étend parfois aux bandes ventriculaires et peut même atteindre un niveau situé à un centimètre au-dessus de ces dernières. Elle s'étend aussi sous la glotte, jusqu'à 1 cm. 1/2 au-dessous de la surface supérieure des cordes vocales.

2) *Les ventricules de Morgagni* apparaissent plus

ou moins profonds et dilatés, et pourvus d'une ouverture plus ou moins évasée.

Ils perdent de la profondeur et se rapetissent, tandis que leur orifice s'évase et se dilate, quand on passe du piano au forte.

Chez les sujets vocalement inéduqués et dont la musculature laryngée est de ce fait peu développée, ils sont profonds et bien visibles.

Chez les chanteurs professionnels, ils sont peu profonds et évasés, parce que le développement de la musculature laryngée les a partiellement comblés.

Enfin, chez certains chanteurs, à voix (et à musculature) particulièrement puissante, ils n'existent plus.

3) *L'écartement des ailes du thyroïde* ne semble varier ni du grave à l'aigu, ni d'une voyelle à l'autre *(ceteris paribus)*.

Cependant les ailes du thyroïde se rapprochent (à peine) quand on passe du piano au forte d'une part, et d'un son de fausset à un son de poitrine, d'autre part. En fait, ce rapprochement est un phénomène passif conditionné par la contraction croissante du sphincter glottique.

4) *La profondeur de l'accolement des cordes vocales* est variable. Faible en voix de fausset, plus forte en voix de poitrine *piano*, elle atteint son maximum en voix de poitrine *forte*. Cet accroissement se réalise par la venue en contact médian de fibres musculaires appartenant à des régions de plus en plus profondes de la partie sous-glottique des thyro-aryténoïdiens internes.

5) *La fermeté de l'accolement des cordes vocales* diminue :

— quand on sombre une voyelle ;
— quand on passe d'une voyelle ouverte à la voyelle fermée la plus voisine.

6) *Le niveau d'ascension ou de descente du larynx* se repère par rapport aux images des vertèbres qui sont toujours visibles en *toile de fond*, parfois aussi par rapport aux images claviculaire et sternale.

7) *La dilatation du sommet de la trachée* s'observe pendant l'émission de sons intenses ; elle est fonction des pressions d'air sous-glottiques réalisées (jusqu'à 200 cm. d'eau).

La lecture des clichés révèle en outre un certain nombre de particularités en rapport avec les variations successives des caractéristiques vocales.

1) *Pression sous-glottique seule variable.* — La profondeur d'accolement des cordes vocales augmente au fur et à mesure qu'on passe d'un son de fausset à un son de poitrine *piano*, puis *forte*. Pour la voyelle a émise sur *si 2*, elle passe successivement de 1 mm. à 3 mm., puis à 6 mm.

2) *Hauteur seule variable.* — Du grave à l'aigu, l'analyse des clichés ne met en évidence que des modifications discrètes :

a) Pas de modification sensible de l'image ventriculaire, ni de rapprochement des ailes du thyroïde.

b) Sur les voyelles *fermées* **i** et **ou**, les cordes vocales s'accolent par une surface toujours très large mais qui s'amincit progressivement du grave à l'aigu. En devenant plus mince, l'accolement devient aussi plus ferme.

c) Sur les voyelles *ouvertes*, **a**, **an** et **e**, la partie des cordes vocales venant à l'accolement est un peu moins large que sur les voyelles fermées. Cette partie s'amincit moins vite du grave à l'aigu ; et même, sur *mi* 3, dernière note ouverte avant l'exécution de la couverture du son, elle paraît s'épaissir légèrement.

Dès que le son est couvert, on observe un amin-

cissement brusque de la corde vocale, dû à l'entrée en action du crico-thyroïdien.

Sur les voyelles ouvertes, l'accolement est toujours plus ferme que sur les voyelles fermées. Il augmente notablement du grave à l'aigu. C'est entre *la 2* et *mi 3*, c'est-à-dire dans la région tonale où la voyelle acquiert au maximum son caractère « ouvert », que la fermeté de l'accolement paraît surtout considérable. Après exécution de la couverture du son, l'accolement semble perdre un peu de sa fermeté.

3) *Voyelle émise seule variable. — a)* A l'intérieur du groupe des voyelles ouvertes, la profondeur et la fermeté de l'accolement des cordes vocales varient peu. La profondeur paraît croître et la fermeté de l'accolement décroître quand on émet successivement les voyelles dans l'ordre : **è** ouvert, **eu** ouvert, **a** et **o** ouverts, c'est-à-dire en passant du clair au sombre ; même observation en passant de **a** à **an** (nasalisé).

b) En passant d'une voyelle ouverte à la voyelle fermée correspondante (de **o** à **ô** par exemple), la profondeur de l'accolement croît notablement, tandis que sa fermeté diminue dans la même proportion. De ce double point de vue, le groupe des voyelles ouvertes se différencie donc de celui des voyelles fermées.

c) A l'intérieur du groupe des voyelles fermées, les différences observées dans la profondeur et la fermeté d'accolement sont faibles.

Comme ci-dessus, la profondeur paraît croître, tandis que décroît la fermeté de l'accolement dans l'ordre vocalique **i, u, ô, ou,** c'est-à-dire en allant vers des voyelles de plus en plus sombres.

4) *Registres.* — L'étude des clichés montre que :

a) Lors du passage d'un son de fausset à un son

de poitrine, sur la même voyelle et la même hauteur d'émission :

— le larynx s'abaisse ;
— la contraction générale de la musculature laryngée croît ;
— les ailes du thyroïde se rapprochent ;
— les cavités ventriculaires se rapetissent et s'évasent,

et surtout *l'accolement des cordes vocales devient beaucoup plus ferme et considérablement plus profond.*

Dans le fausset suraigu (hors des limites de la voix de poitrine) le larynx s'élève de 2 cm., tandis que les cordes vocales paraissent réduites à deux lames très minces par la rétraction latérale des faisceaux musculaires sous-glottiques.

b) Lors du passage d'un son de poitrine ouvert à un son de poitrine couvert, sur la même voyelle et des notes voisines, les images tomographiques varient peu. L'altitude du larynx ne varie pas ou baisse légèrement.

Des investigations tomographiques sur le larynx en phonation, se dégagent les conclusions suivantes :

1) *Les ventricules de Morgagni, contrairement aux idées de Guillemin et de Bonnier, ne jouent aucun rôle dans la phonation,* ni dans la fixation de la hauteur tonale, ni dans la différenciation des voyelles au niveau du larynx.

La forme, l'ouverture et le volume de ces ventricules dépendent passivement de la contraction des thyro-aryténoïdiens et des filets musculaires *éventuellement* inclus dans les bandes ventriculaires. Parfois même, chez certains chanteurs à musculature laryngée très développée et par conséquent

à voix particulièrement puissante, les ventricules n'existent pas.

2) Autant les tomographies du larynx mettent en évidence des différences considérables entre la voix de fausset et la voix de poitrine, autant ces différences sont insignifiantes entre la voix de poitrine ouverte et la voix de poitrine couverte, de part et d'autre du passage du *mi 3*.

Il n'y a donc chez les hommes que deux registres : la voix de poitrine et la voix de fausset. La voix couverte, au-dessus du passage du *mi 3*, ne constitue pas un registre particulier, mais une simple modalité d'émission de la voix de poitrine. Quant à la voix dite « mixte », c'est tout simplement une « voix de poitrine diminuée en intensité », et en général couverte.

3) Enfin, la tomographie a confirmé le rôle de l'*impédance ramenée* sur le larynx et son effet amortissant sur la vibration des cordes vocales. Cette donnée intéresse le physiologiste, mais elle est surtout du domaine de l'acousticien et même du phonéticien, qui doivent en tenir compte lorsqu'ils étudient la formation des sons articulés. Il convient pourtant de signaler que les voyelles — au moins pendant le chant — sont déjà différenciées au niveau du larynx.

IV. — Expérimentation physiologique pure (*Electrophysiologie* in vivo)

L'étude du mécanisme neuro-physiologique de la phonation a fait l'objet d'un certain nombre d'expériences réalisées sur l'animal vivant par Lindemann (1930), Dumont (1933), Laget (1952) et tout récemment, sur l'homme lui-même, par A. Moulonguet. Il est remarquable que les trois premiers au-

teurs aient eu recours au même sujet d'expérience : le chien. C'est que cet animal possède un larynx de forte taille, anatomiquement voisin du nôtre, et qu'il émet des sons dans des limites de fréquence qui sont celles de la voix humaine.

A) **Les expériences de Lindemann (1930).** — Lindemann met à nu les nerfs laryngés inférieur et supérieur d'un chien anesthésié à l'éther. Par des électrodes en platine, il capte *les courants d'influx* qui circulent le long de ces nerfs, les amplifie grâce à un amplificateur et les enregistre au moyen d'un oscillographe. Par ailleurs, un microphone est chargé de recueillir *la voix* du chien, un amplificateur de la grossir, l'oscillographe de l'enregistrer. Tant que le chien se tait, aucune modification n'apparaît dans la ligne du tracé oscillographique. Mais lorsque, sortant de l'anesthésie, l'animal se plaint ou aboie, des oscillations régulières apparaissent dans la ligne des courants du nerf laryngé inférieur et ces oscillations ont la même fréquence que celles enregistrées sur le tracé de la voix. Quand le ton de la voix change, la fréquence des oscillations engendrées par les influx nerveux change aussi.

Après section du nerf laryngé inférieur, Lindemann vérifia que le bout central du nerf présentait encore des oscillations régulières (comprises entre trois cent quatre-vingts et dix-huit cents par seconde) d'une fréquence égale au ton de l'enregistrement de la voix. Il en conclut bien que les influx circulaient des centres vers le larynx. Mais affirmatif sur leur *direction centrifuge*, il ne le fut pas quant à leur *origine centrale*. En fait, il ne pouvait l'être. Le rôle des centres dans la genèse des activités rythmiques ne devait être éclairé que dix-sept ans plus tard, par les travaux de Bremer (1947), suivis et précisés par ceux de A.-M. Monnier, Laget, Corabœuf, etc.

B) **Les expériences de Dumont (1933).** — Au cours d'une « Etude chronaximétrique sur le larynx » (thèse Faculté des Sciences, avril 1933), P. Dumont eut l'occasion de stimuler électriquement, à différents rythmes, le récurrent de chiens endormis.

Lors des excitations à rythme *lent*, il observa, pour chaque excitation, une *dilatation* instantanée et rapide de la glotte, d'ailleurs immédiatement suivie d'une contraction.

Au contraire, les excitations à rythme *rapide* déclenchèrent un véritable *tétanos* de tous les muscles laryngés non seulement intrinsèques, mais également extrinsèques, déterminant une occlusion complète de la glotte et s'accompagnant d'un mouvement de fibrillation des cordes vocales en rapport avec le rythme.

« Ces vibrations des cordes, ajoute Dumont avec une prescience remarquable, sont *probablement* analogues à celles qui se produisent dans l'émission des sons.

On peut donc bien affirmer que les excitations simples ou à un rythme très lent déterminent des dilatations, alors que les excitations répétées à un rythme supérieur à dix ou quinze à la seconde, déterminent une constriction dont les mouvements élémentaires se fusionnent de plus en plus, au fur et à mesure que le rythme devient plus rapide, pour aboutir à un tétanos parfait, auquel se surajoute une fibrillation des cordes (et cela lorsque le rythme dépasse cinquante à la seconde). »

C) **Les expériences de Laget (1952).** — Lindemann avait détecté les influx nerveux qui déterminent la phonation. Dumont avait excité artificiellement le nerf récurrent, mais sans avoir en vue l'explication de ce phénomène fondamental de la phonation qu'est la vibration des cordes vocales. Au contraire, les

expériences de Laget furent des expériences cruciales et délibérées. Il s'agissait, partant des vues soutenues par Husson dans sa célèbre thèse (1) et de nos observations cliniques personnelles, d'établir de façon décisive que les cordes vibrent, comme tout muscle, sous une excitation nerveuse rythmique (venue des centres cérébraux) et que le courant d'air n'est pour rien dans le *déclenchement* de ces vibrations. En somme, on allait chercher à reproduire expérimentalement la vibration des cordes vocales par la seule stimulation électrique du récurrent.

En vue de ces expériences historiques, le Laboratoire de Physiologie de la Sorbonne dut acquérir ou faire construire un stroboscope, une table chauffante à thermostat pour assurer au sujet température et humidité constantes, une cage de Faraday en grillage métallique pour soustraire l'expérience à toute influence électrique extérieure, enfin et surtout un stimulateur électronique. Ce dernier appareil devait donner des stimuli réglables en fréquence et voltage, groupés en « salves » dont la longueur fût elle-même réglable. Le problème fut résolu par un circuit à thyratron.

Une fois le dispositif en place, un sujet s'imposait : le chien.

L'animal est d'abord endormi par une injection de chloralosane. Une incision est pratiquée devant la trachée sur 15 cm. et assez bas. Le corps thyroïde droit ou gauche est dégagé, puis récliné, et le récurrent apparaît sous forme d'un cordon blanchâtre, aplati, d'aspect organo-végétatif, d'environ 2 à 3 mm. de diamètre. On l'isole alors sur une longueur de 4 à 5 cm., le plus bas possible afin de ménager

(1) Husson (R.), 1950 : Thèse Fac. Sc., *Revue scientifique* (4, rue Pomereu, Paris) édit.

ses insertions sur le larynx qui sont fragiles. On ne cesse de l'arroser avec un sérum à 38° pour éviter qu'il se dessèche et se refroidisse, car il serait alors mauvais conducteur d'influx.

La plaie étant provisoirement refermée, on procède à une ultime mise au point du stimulateur. Pour les premières expériences, on envoyait des volées de stimuli de 1 volt en moyenne : 30 stimuli de 1 milliseconde, séparés de un centième de seconde dans chaque volée. On avait donc cent volées par seconde, soit une fréquence un peu inférieure au *la 1* des basses et des barytons.

Le chien est porté sur la table chauffante. L'atmosphère maintenue à 37° doit être saturée de vapeur d'eau, car un nerf de mammifère perd très vite ses propriétés conductrices s'il est desséché ou refroidi. L'incision du cou est dégrafée. C'est alors la phase délicate : le récurrent est soulevé, isolé des tissus voisins par une feuille de latex, puis placé sur la gouttière que forment les électrodes.

L'animal endormi a déjà été strictement immobilisé, les électrodes doivent l'être également, car toute modification des contacts est susceptible de faire varier la stimulation. On descend un capot sur la table pour que les conditions d'expérience restent rigoureusement constantes, et l'on stimule le nerf.

Stimuler un nerf, ce n'est pas remplacer l'influx nerveux par une variation artificielle de potentiel ; c'est l'amorcer par une excitation, sur une faible partie de son trajet, et l'entretenir par des excitations réitérées. Un tel effet est obtenu en créant une différence de potentiel entre deux points du nerf, même très proches l'un de l'autre.

Les volées de stimuli envoyées dans le récurrent, comment vont réagir les cordes vocales ? Pour le savoir, on observe le larynx au stroboscope, en écar-

tant les mâchoires du chien avec un « écarteur » de dentiste.

On voit la corde correspondant au récurrent stimulé se rapprocher brusquement de l'autre, puis battre tout en restant en position d'occlusion. Quand la volée de stimuli cesse, la corde stimulée s'écarte légèrement ; la corde opposée reste immobile.

Puisque le stroboscope, réglé aux alentours de cent, permet d'observer le battement, c'est que la corde vibre sensiblement au même rythme que le stroboscope l'éclaire. Or les influx ont été, on le sait, imposés au nerf récurrent à la cadence de cent par seconde. La corde vibre donc à la fréquence de l'influx.

Soulignons qu'aucun son ne se produit, puisqu'il n'y a pas courant d'air sur la corde vibrante, l'animal respirant faiblement à raison d'une fois par minute. Mais, telle qu'elle a été faite, l'expérience n'est que plus probante : si les cordes vibrent en l'absence de courant d'air, c'est que l'air n'est nullement nécessaire au phénomène.

Au cours des premières expériences, la stimulation avait été conduite à la fréquence grave et constante de cent par seconde (environ) en vue de faciliter l'observation.

Dans une seconde série d'expériences, on a procédé à l'excitation du récurrent par des fréquences progressivement croissantes de cent à six cents par seconde. Dans ces conditions (voir fig. 15) :

a) Aux fréquences expérimentées, le *rythme* de la réponse fibrillaire des cordes vocales suit rigoureusement le rythme de la stimulation ;

b) Par contre, *l'amplitude* de la réponse fibrillaire des cordes vocales varie de façon complexe, en fonction et de la fréquence et de l'intensité de la stimulation.

La réponse vibratoire laryngée passe par un maximum entre cent quatre-vingts et deux cent quarante stimulations par seconde (c'est-à-dire entre *fa 2* et *si 2*), ce qui correspond au fait que chaque influx vient alors tomber sur la phase d'excitation *super-normale* du précédent.

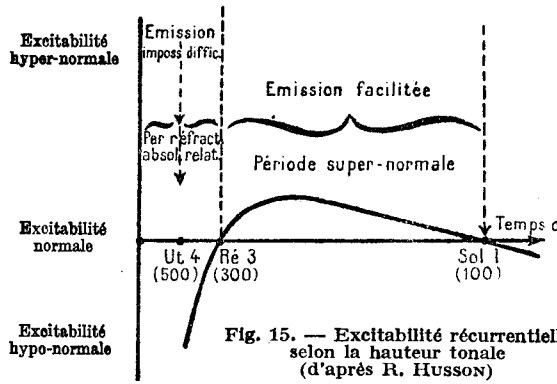

Fig. 15. — Excitabilité récurrentielle selon la hauteur tonale (d'après R. Husson)

Jusqu'au **ré 3**, chaque influx tombe sur la *période super-normale* du précédent; *à partir du* **ré 3**, chaque influx mord sur la *période réfractaire relative* du précédent; *dès l'***ut 4**, chaque influx tombe sur la *période réfractaire absolue* du précédent.

A partir de trois cents par seconde et au-dessus (soit au-dessus du *mi bémol 3*), la réponse diminue rapidement d'amplitude, car chaque influx doit alors mordre sur la période réfractaire *relative* du précédent.

Au-dessus de cinq cents par seconde environ (*ut 4* ou *contre-ut* des ténors), la stimulation à forte intensité ne donne plus aucune réponse, car chaque influx tombe alors sur la phase réfractaire *absolue* du précédent. Mais, fait remarquable, une intensité suffisamment faible, n'intéressant par exemple que la moitié des fibres, fait réapparaître une vibration de même rythme que la stimulation. Ce phénomène

traduit une réponse biphasée du récurrent et des fibrilles musculaires laryngées, dont les éléments répondent une fois sur deux et à tour de rôle. Ce sont les conditions de formation de la voix dite de fausset ou de tête, seule susceptible d'être émise sur ces hauteurs tonales.

Et en effet de même que, dans les expériences de Laget, il faut diminuer l'intensité de la stimulation récurrentielle pour déclencher, aux rythmes supérieurs à cinq cents par seconde, une réponse des cordes vocales, de même, quand la femme et l'homme veulent passer de leur voix de poitrine à leur voix de tête ou de fausset, ils doivent diminuer considérablement la stimulation volitive. L'observation laryngoscopique révèle alors, nous l'avons dit, une brusque décontraction de tout le sphincter laryngien.

Ainsi, la hauteur des sons émis par le larynx n'est pas régie par la pression d'air et l'élasticité du sphincter laryngien. Les expériences de Laget confirment indiscutablement que c'est un phénomène de physiologie neuro-musculaire. Comme tout muscle, les cordes vocales se contractent sous l'action de l'influx nerveux, mais le rythme des influx qui les excitent atteint de hautes fréquences.

D) **Les expériences de Moulonguet (1952-53).** — Elles ont eu pour but de vérifier si, lorsqu'un *homme* émet un son, il existe dans ses nerfs récurrents des potentiels d'action, c'est-à-dire des influx nerveux, de même fréquence que le son émis. Elles sont en somme la réplique des expériences faites par Lindemann sur le chien, mais, étant donné que le sujet choisi était cette fois un être humain, les expériences de Moulonguet se heurtèrent à plusieurs difficultés *sui generis* : d'abord, comme elles ne pouvaient avoir lieu qu'au cours d'une laryn-

gectomie totale, il fallait trouver des malades qui présentent une tumeur du larynx nécessitant cette intervention et dont la voix soit néanmoins restée convenable (éventualité assez rare) ; ensuite il fallut mettre au point une instrumentation électrophysiologique spécialement adaptée à ces expériences : ce fut l'œuvre de MM. Rémi Saumont, Robert Gaillard, Christian Chenay et Jacques Vannier ; enfin, il fallut préparer la salle d'opération de manière à supprimer tous les bruits parasites.

L'appareillage électrique utilisé fut le suivant : un oscillographe cathodique « à double trace », un microphone magnétique, un oscillateur de basse fréquence pour l'étalonnage des fréquences, un accumulateur de 6 volts, trois piles de 90 volts, un préamplificateur destiné à intensifier (jusqu'à un million de fois) les potentiels d'action et à filtrer le « 50 périodes », un étage d'amplification pour le microphone, un porte-électrodes spécial démontable et réglable, une électrode double en crochet à nerfs, stérilisable, des arceaux spéciaux destinés à fixer le microphone et le porte-électrodes.

Les expériences eurent lieu à l'Hôpital Boucicaut.

Sur un premier malade, les résultats furent peu probants, ceci pour plusieurs raisons : afin d'éviter le dessèchement du récurrent, la plaie opératoire avait été inondée de liquide de Krebs à 37° et cela provoqua des courts-circuits et des influx parasites dus aux contractions des muscles voisins.

En outre, on se rendit compte que pour obtenir de bonnes photographies des tracés oscillographiques, il convenait de régler à l'avance la vitesse de déroulement du film sur celle des tracements et cette dernière sur la fréquence la plus probable de la voix humaine (cent vingt cycles à deux cents cycles environ).

Enfin, pour éviter l'enregistrement des bruits aigus produits par le sifflement de l'air à travers la trachée, il apparut nécessaire d'ajouter au microphone un filtre passe-bas destiné à éliminer les vibrations d'une fréquence supérieure à mille cycles. Ce ne fut chose faite, sur les conseils de Rémi Saumont, que pour les expériences ultérieures.

Malgré cela, dans une seconde expérience, les résultats furent également médiocres : la recherche du récurrent avait été longue et difficile et l'on avait adopté de nouvelles électrodes, munies d'un crochet à ressort, pour maintenir le nerf : il est probable que ces crochets le comprimaient trop.

Ce n'est que sur un troisième malade, atteint d'une tumeur de l'aryténoïde, opéré le 3 juin 1953, que des résultats démonstratifs peuvent être enfin enregistrés.

Après avoir été découvert et dénudé délicatement sur une longueur de 4 cm., le nerf récurrent gauche est chargé sur les électrodes. Le microphone étant placé devant la bouche de l'opéré, on lui demande d'émettre le son **a**, pendant que l'appareillage électrique est mis en marche. L'expérience est renouvelée à plusieurs reprises pendant trois minutes et l'on voit apparaître sur l'écran de l'oscillographe des tracés très nets que l'on peut photographier. Les photographies montrent un double tracé : le tracé supérieur correspond à l'enregistrement de la voix, le tracé inférieur à l'enregistrement des potentiels d'action ou influx nerveux.

De l'examen des clichés pris respectivement vingt secondes, quatre-vingts secondes et cent dix secondes après le début de l'émission vocale sur **a**, il ressort qu'il y a homorythmicité parfaite entre le tracé de la voix et celui des potentiels d'action. Les fréquences communes aux deux tracés se situent

entre cent soixante-dix et cent quatre-vingts cycles ; elles s'abaissent simultanément à cent quarante cycles sur la fin de l'émission de la voix qui s'achève en une sorte de gémissement.

Au tracé des potentiels d'action se superpose parfois l'enregistrement d'un *phénomène de Piper*, sorte de renforcement périodique de l'intensité de ces potentiels ; de plus, il arrive que des potentiels d'action soient enregistrés quelques secondes *avant* l'enregistrement de la voix. Ces deux particularités montrent bien qu'il s'agit de potentiels d'action *moteurs* et non pas d'un artefact microphonique.

Les clichés confirment donc la théorie de Raoul Husson sur l'origine encéphalique des potentiels d'action ou influx nerveux qui vont atteindre les fibres musculaires du thyro-aryténoïdien et faire vibrer les cordes vocales.

Les expériences de Moulonguet permettent dorénavant d'affirmer que lorsqu'on chante le « *la 3* » par exemple (*la* du diapason), c'est que, par un effet de mémoire musicale, le cerveau a préalablement émis quatre cent trente-cinq potentiels d'action par seconde qui, après avoir parcouru le nerf récurrent, sont en train d'actionner les cordes vocales à raison de quatre cent trente-cinq va-et-vient par seconde.

Chapitre VI

LA CLASSIFICATION TONALE DES VOIX

I. — Définition et but

Classer une voix, c'est essentiellement déterminer l'étendue sonore sur laquelle un sujet peut travailler sa voix sans courir le risque de fatiguer son larynx et à quel répertoire, lyrique ou autre, le professeur est en droit de le destiner. L'examen a alors une valeur pronostique. Mais l'on a souvent affaire à des sujets dont la carrière vocale en cours a été mal aiguillée : dans ce cas, le classement de la voix permet de relever l'erreur commise et, si le sujet est raisonnable et docile, de la redresser ; il est donc susceptible de revêtir, par les conséquences et les décisions qu'il implique, une valeur thérapeutique.

Le classement de la voix apparaît ainsi, pour l'artiste lyrique en particulier, aussi important et nécessaire que, d'un autre point de vue et chez d'autres êtres (tous en vérité), la détermination du groupe sanguin. Autant que ce dernier, la voix est une constante biologique. Et maintenant surtout que nous savons classer les voix d'une manière sûre et en quelque sorte objective — c'est-à-dire, comme nous le verrons, en déterminant la chronaxie du récurrent — le chiffre qui mesure celle-ci ne serait pas indigne de figurer sur une fiche d'identité.

II. — Les différents types de voix

Tout le monde (ou à peu près) sait que les voix masculines et féminines se répartissent en six types principaux : basse, baryton, ténor, contralto, mezzo, soprano.

Mais ce à quoi on ne réfléchit pas assez, c'est que ces catégories vocales sont des créations artificielles liées au développement historique des Ecoles et du théâtre chanté, à l'évolution du goût esthétique et aux particularités d'écriture de quelques compositeurs (Verdi par exemple). Elles n'ont pas de correspondances exactes dans la nature (où se rencontre une infinité de types vocaux définis par les multiples valeurs d'excitabilité du nerf récurrent, dont les variations individuelles sont considérables). Les remarques précédentes rendent compte de l'existence momentanée, puis de la disparition ultérieure de certaines voix particulières : castrats en Italie jusqu'au XIX^e^ siècle, falsetti dans l'Espagne du XVI^e^, viragines en Allemagne. Elles expliquent du même coup que les divers auteurs (Faure, Duprez, García, Jane Arger, Martini, Cunaud, Glover, etc.) aient assigné à la tessiture de chaque type de voix, dans le grave et dans l'aigu, des limites sensiblement différentes (1). En réalité, il faut classer, non les voix, mais les individus (Prudhomme).

III. — Étendue et tessiture

Tout individu a à sa disposition un certain nombre de notes qu'il émet *plus ou moins facilement* et qui constituent l'étendue de sa voix.

(1) Un tableau de ces diverses limites figure, p. 99, dans la thèse de P. PRUDHOMME, *Le classement des voix*, Paris, 1945, Imprimerie Foulon, 29, rue Deparcieux.

Quant à la tessiture, elle est « l'ensemble des sons qui conviennent *le mieux* à une voix » (Larousse).

Dans une voix inculte, la tessiture est nettement plus courte que l'étendue. Mais au fur et à mesure que la technique vocale progresse, elles tendent à se confondre. C'est pourquoi, le mot tessiture est fréquemment employé comme synonyme d'étendue et c'est dans ce sens que nous en userons.

IV. — Tessiture et catégories vocales

Si nous nous risquons à indiquer ici les limites, grave et aiguë, de chaque type de voix, il est bien entendu que ces limites n'ont aucune valeur normative et qu'elles figurent à titre d'indication. D'autre part, la limite retenue pour l'aigu concerne exclusivement la voix de poitrine (chez l'homme) ou de tête (chez la femme), le bel canto n'ayant pratiquement pas recours au fausset. Enfin, nous ne tiendrons pas compte des subdivisions encore introduites dans chaque type de voix par le timbre et l'intensité, dont dépend le plus souvent l'emploi au théâtre.

Dans ces conditions, les limites sont *grosso modo* et en moyenne les suivantes :

Basse.....	*ut 1-mi 3*
Baryton	*la 1-sol 3*
Ténor	*ut 2-ut 4*
Contralto	*sol 2-sol 4*
Mezzo	*la 2-la 4*
Soprano	*ut 3-ut 5*

(Les chiffres qui suivent chaque note répondent aux conventions internationales sur la numérotation des octaves, établie en prenant comme référence le *la* du diapason ou *la 3* = 435 périodes-seconde.)

V. — Les facteurs de classification vocale dans la théorie myo-élastique
(Examen critique)

Le classement des voix a longtemps reposé (en fait il reposait encore il y a un an) sur des bases anatomiques, morphologiques et acoustiques : volume des résonateurs qui propagent l'onde sonore (pharynx et cavité buccale) ; longueur, largeur et épaisseur des cordes vocales ; timbre et tessiture de la voix chantée ; enfin, à titre accessoire : hauteur de la taille, constitution générale, hauteur de la voix parlée, caractères endocriniens et sexuels, état neuro-psychique ou tempérament. Comme dans les classifications botaniques, le jeu consistait à apprécier la concordance ou la discordance, chez un même sujet, des caractères énumérés ci-dessus, et à en déduire des conclusions... trop souvent hasardeuses. Si nous croyons néanmoins devoir détailler rapidement ces facteurs, pour la plupart périmés (à l'exception des deux derniers, mais combien revus et précisés), c'est qu'ils sont encore dans bien des mémoires et qu'il est des morts qu'il faut qu'on tue.

A) **Les résonateurs et le timbre.** — Un résonateur est, on le sait, une cavité susceptible de renforcer un son tout en le propageant. Dans ce sens, seul le résonateur constitué par le pharynx et la cavité buccale est capable de modifier le son glottique, en renforçant certains harmoniques de chaque son émis par le larynx.

En vertu de cette conception, nous pouvons et nous devons bien accorder que le volume du bucco-pharynx influence le timbre. Il ne saurait influencer le classement proprement dit, puisque (le fait est d'observation courante) quel que soit leur type,

toutes les voix peuvent posséder un timbre clair ou un timbre sombre.

Quant à l'action du résonateur sur les vibrations du larynx (réaction d'impédance de Husson) si elle est capable de modifier le son, c'est à titre trop passager et à un degré trop faible pour que cette action serve de mécanisme régulateur à la hauteur du son laryngien. Nous savons du reste — et il est bien démontré désormais — que la fréquence de ce dernier est fixée par les stimulations rythmiques encéphalo-récurrentielles.

B) **La longueur des cordes vocales.** — Elle a donné lieu à un grand nombre de mesures et à plusieurs statistiques, les dernières étant celles de Zimmermann et de Prudhomme, qui comparent catégorie vocale et longueur des cordes. Ce qui en ressort de plus clair, malgré les affirmations nuancées des auteurs et l'astuce de leurs courbes statistiques, c'est que d'une catégorie à l'autre les différences de longueur ne sont pas nettes, que les catégories se chevauchent et qu'à un même type de voix correspondent des longueurs de cordes plus ou moins contradictoires. Tirer de relations aussi imprécises des conclusions qui engagent l'avenir d'un sujet est une prétention désormais indéfendable.

C) **Les caractères accessoires.** — 1) *La taille.* — Les tenants de la théorie myo-élastique n'ont pas manqué de faire remarquer depuis longtemps que les voix graves se rencontreraient chez des sujets de haute stature, tandis que les personnes de petite taille auraient une voix aiguë.

Sur quarante et un sujets dépassant 1 m. 75, Schilling a trouvé onze basses, vingt-cinq barytons et cinq ténors. Sur soixante-dix-neuf autres qui mesuraient moins de 1 m. 75, il y avait huit basses, quarante-sept barytons et vingt-quatre ténors.

De son côté, Prudhomme, sur plus de cinquante soprani mesurés, a obtenu les *moyennes* suivantes : Soprani dramatiques = 1 m. 66 ; soprani lyriques = 1 m. 62 ; soprani légers = 1 m. 59.

Même si l'on exprime les chiffres de Schilling en pourcentage, la probabilité du classement vocal en fonction de la taille est trop faible pour être prise en considération.

Quant aux mesures de soprani effectuées par Prudhomme, elles sont, de son propre aveu, exprimées sous forme de *moyennes*. C'est là une commodité, mais aussi un *artifice de statisticien* qui ne nous permet rien moins que d'en déduire un rapport *naturel* absolu et constant entre la taille et le sous-classement. Honnêtement du reste, Prudhomme ajoute que des mesures infiniment plus nombreuses sont nécessaires avant de conclure.

La conclusion, pour nous, est claire : c'est que le plus grand hasard préside au lien qui unit la taille et la catégorie ou la sous-catégorie vocale. Le but de toute science est justement d'éliminer l'intervention du hasard dans l'observation des phénomènes.

2) *La hauteur de la voix parlée.* — On a voulu établir une corrélation entre l'intonation moyenne normale de la voix parlée (en conversation) et le classement de la voix chantée. Selon cette conception, la tonalité de la voix parlée se trouverait à la limite inférieure de la voix chantée (Thooris, Gutzmann) et le fondamental usuel de la parole se situerait : vers *sol 1* pour les basses ; *la dièse 2* pour les mezzi ; *ut 3*, *ré 3* pour les soprani.

Ces idées sont purement arbitraires. Il est en effet d'observation courante que l'intonation de la voix parlée fluctue sans cesse et dans de larges limites (parfois plusieurs octaves) surtout dans la conversation. De ces fluctuations nous connaissons aujourd'hui la cause : le niveau de stimulation de la voix chantée est cortical, celui de la voix parlée ne dépasse pas la région opto-striée. Autrement dit, l'une est contrôlée, l'autre normalement pas ou peu. Ainsi s'expliquent les dissociations motrices de la parole et du chant, les discordances entre ces deux modes de phonation, discordances qui n'ont absolument rien de pathologique, mais dont l'existence reconnue interdit de tirer d'un mode à l'autre la moindre déduction quant au classement de la voix chantée.

3) *La morphologie.* — L'idée d'établir un rapport entre la morphologie du chanteur et le classement de sa voix a été soutenue notamment par Thooris Van Borre (*Le chant humain*, 1927). Elle est un corollaire du rôle que cet auteur attribue à la tension abdominale vis-à-vis de la pression sous-glottique *considérée comme facteur déterminant de la hauteur des sons émis*. Elle se réfère donc encore à la vieille théorie myo-élastique de la phonation. Thooris entend par tension abdominale la manière dont la masse abdominale résiste à la pression qu'on

exerce sur elle (au cours de l'inspiration et de l'expiration). Il allègue par ailleurs l'existence d'une synergie entre les sphincters pharyngo-vélaire et glottique, d'une part, et le périnée (qui est aussi un sphincter), d'autre part.

Or la morphologie humaine, ou science clinique de la forme extérieure de l'homme, divise l'humanité en deux grandes classes : les *ronds* et les *plats*. La prédominance abdominale est le plus souvent l'apanage du *rond* et celle du thorax l'apanage du *plat*.

Toutefois, chacun de ces deux grands groupes se divise en deux catégories : les *ronds* évoluent en se dilatant, mais plus ou moins. Ceux qui obéissent sans défense à la dilatation sont les *ronds uniformes* ; ceux qui résistent, les *ronds cubiques*. C'est parmi ces derniers que se recrutent les ténors.

Les *plats* évoluent en se rétractant, mais d'une façon différente.

Les *plats uniformes* obéissent à la rétraction uniformément dans toutes leurs parties, les *plats bossués* ont des zones plus ou moins nombreuses et étendues de résistance. C'est parmi eux que se recrutent les basses.

Ainsi, Sancho Pança serait plutôt la caricature du ténor, Don Quichotte celle de la basse. Le baryton tient plus ou moins de l'un et de l'autre.

On comprend, ajoute Thooris, que l'hygiène du ténor doive être de résister à la dilatation et celle de la basse de ne pas se laisser rétracter outre mesure.

L'un a le cou court, le thorax globuleux et la respiration abdominale ; l'autre, le cou long, le thorax doliforme et la respiration thoracique.

Quant à la morphologie générale de la chanteuse dans ses rapports avec la tessiture, elle présente, de l'aveu de Thooris, des difficultés d'interprétation. La femme est plus enveloppée que l'homme, même la *plate*. Car la *plate* n'est pas forcément maigre. Elle peut faire de la graisse, même plus que la *ronde*.

Nous avons cru opportun de rapporter avec quelque détail les conceptions de Thooris, parce que — et c'est déjà quelque chose — elles ont marqué une étape de nos connaissances et, à ce titre, elles ont exercé, elles exercent encore des séductions sur de bons esprits. Mais étant bien démontré désormais que c'est l'influx nerveux, et non la pression sous-glottique, qui commande la hauteur de la voix, il serait périmé et dangereux de continuer à prendre son système pour base d'un classement vocal. Du reste, nous connaissons tous, pour reprendre la comparaison de notre auteur, des basses qui ont l'apparence de Sancho Pança et des ténors celle de Don Quichotte. Les excep-

tions ne confirment pas toujours la règle : elles peuvent imposer d'en chercher une autre.

4) *Caractères endocriniens et sexuels.* — Dans la théorie myo-élastique, ils sont entendus au sens le plus vague et descriptif de ces mots. Plus la voix est grave, plus l'individu tendrait vers le type masculin ; plus elle est aiguë, vers le type féminin. Maximum de virilité chez les basses, de féminité chez les soprani ; ébauche de masculinisation (rudesse des traits, abondance du système pileux) chez les contralti ; découverte occasionnelle d'une microorchidie chez certains ténors.

5) *Etat neuro-psychique.* — Le tempérament masculin (énergie, rudesse, penchant pour les travaux pénibles et les sports violents) serait à l'apogée chez les basses. Au contraire, on trouverait parfois chez les ténors « quelques petits signes de féminité ».

Des nuances analogues et tout aussi subtiles seraient à distinguer chez la femme, selon qu'elle est soprano ou contralto.

N'insistons pas sur ce que ces caractères (et les précédents) de classement vocal peuvent avoir d'inconstant et de subjectif, puisque les tenants de la théorie myo-élastique ont eu la bonne foi de reconnaître implicitement leur infidélité en les qualifiant d' « accessoires ».

En définitive, le bilan de la théorie myo-élastique, appliquée à la détermination des catégories vocales, se solde par une faillite : le cadavre est bien mort.

VI. — La chronaxie du récurrent et la classification tonale des voix

Les notions de commande centrale de la vibration des cordes vocales et de conduction récurrentielle polyphasée, récemment confirmées par les expériences de Laget, devaient conduire Husson et Chenay à reprendre *ab ovo* le problème de la classification des voix en le rapportant à des données de physiologie neuro-musculaire, et notamment à l'excitabilité du nerf récurrent.

On sait que la fréquence maxima des salves d'influx que peut transmettre un axone est atteinte lorsque deux influx consécutifs sont séparés par la durée d'une période dite réfractaire pendant la-

quelle l'excitabilité du nerf est fortement réduite. Cette période est égale à la période réfractaire dite absolue augmentée d'une certaine fraction de la période réfractaire dite relative.

Pour les axones moteurs des nerfs rapides de mammifères, Erlanger et Gasser (1937) ont donné *en millisecondes* les valeurs suivantes de ces phases successives d'excitabilité : 0,5 pour la phase réfractaire absolue ; 2,9 pour la phase réfractaire relative. Evaluées en chronaxies, ces deux phases successives ont ainsi des durées respectives de l'ordre de quatre et vingt-cinq. On peut admettre, en première approximation, que la durée de la phase réfractaire *pratique* d'un axone moteur s'étend jusqu'au milieu (environ) de la période réfractaire relative, ce qui lui donne *grosso modo* une valeur de 16 chronaxies.

Lorsqu'un sujet, homme ou femme, émet un son de poitrine, les axones de son nerf récurrent transmettent des salves d'influx en phase et à la fréquence émise. La limite supérieure de la fréquence de la voix de poitrine, pour la femme comme pour l'homme, est atteinte lorsque deux influx consécutifs sont séparés par la période réfractaire pratique du récurrent. Si N (P) est cette fréquence-limite et θ (R) la chronaxie du récurrent, on a donc la relation fondamentale (Husson) :

$$16\ \theta\ (R) = 1.000/N\ (P)$$

En voix de tête (femme) ou de fausset (homme), les axones récurrentiels travaillent par roulement biphasé, et la fréquence maxima susceptible d'être atteinte est double de la précédente.

La formule ci-dessus permet de déduire une chronaxie récurrentielle calculée de la note la plus aiguë émise par un sujet, soit en voix de poitrine,

soit en voix de tête ou de fausset. Inversement, si la chronaxie récurrentielle d'un sujet était connue (par un procédé quelconque), la même relation donnerait la fréquence maxima que son récurrent pourrait conduire en régime monophasé ou biphasé, élément déterminatif de son classement vocal en étendue.

La difficulté était moins de poser les données du problème que de le résoudre, car le récurrent est un nerf trop profondément enfoui dans le cou pour que la mesure *directe* de sa chronaxie soit possible. Elle fut tournée de la manière suivante : Husson et Chenay étudièrent deux sujets pourvus de voix très cultivées et aussi différentes que possible : une basse noble de l'Opéra de Paris et un ténor suraigu, atteignant respectivement *sol 3* et *la 4* en voix de poitrine. D'après les limites de leur voix dans l'aigu, ils calculèrent théoriquement, par la formule précédemment énoncée, leur chronaxie récurrentielle. Puis, par excitation des nerfs moteurs d'un certain nombre de muscles périphériques de la face, du cou et de la main, ils mesurèrent expérimentalement la chronaxie de ces muscles. Il apparut ainsi que la *chronaxie mesurée du muscle sterno-cléido-mastoïdien* était, sur les deux sujets choisis pour le type extrême de leurs voix, *égale à la chronaxie calculée du récurrent.*

Des mesures systématiques de la chronaxie du sterno-cléido-mastoïdien, effectuées ultérieurement sur des chanteurs et chanteuses professionnels à caractéristiques vocales très exactement connues et bien stabilisées, confirmèrent l'égalité entre la chronaxie calculée du récurrent et la chronaxie mesurée du sterno-cléido-mastoïdien. Le fait s'expliqua après coup : le nerf spinal a dans le cerveau un noyau moteur qui est commun avec celui du pneu-

mogastrique, et le récurrent est une branche de ce dernier. Ce noyau est dit vago-spinal. Il s'ensuit que le nerf spinal (qui innerve le muscle sterno-cléido-mastoïdien) et le nerf récurrent ont même chronaxie.

L'excitabilité du récurrent d'un sujet est le facteur unique qui détermine son classement vocal *en étendue*.

Les chronaxies sterno-cléido-mastoïdiennes, de la basse (ou de la contralto) la plus grave au ténor (ou au soprano) le plus aigu, s'échelonnent *grosso modo* de 0,06 à 0,18. La précision des mesures permet de définir une quinzaine d'échelons avec certitude.

On est donc en droit d'affirmer, comme nous le faisions au début de ce chapitre, que la nature n'offre pas trois types de voix pour chaque sexe, mais une infinité de types, définis par toutes les valeurs d'excitabilité récurrentielle comprises entre les limites ci-dessus. Les six types classiques ne sont que des catégories de classification.

La formule $16\,\theta\,(R) = 1.000/N\,(P)$ donne, à partir de la chronaxie mesurée du sterno-cléido-mastoïdien, la fréquence la plus aiguë que le sujet pourra émettre *lorsque sa voix aura atteint son développement maximum* : elle a donc une valeur pronostique de haut intérêt. Mais il convient d'observer, avec Husson, qu'elle fixe la limite supérieure d'une étendue vocale maxima et non pas d'une tessiture d'emploi.

Il se peut que l'excitabilité récurrentielle varie au cours de la vie d'un sujet donné, et notamment sous l'influence du travail vocal. Cette éventualité est à vérifier.

Ajoutons que, des examens chronaximétriques en cours sur les petits choristes de la maîtrise de la Radiodiffusion française, il semble déjà ressortir que les degrés d'excitabilité des cordes vocales se répartissent, chez les enfants des deux sexes et dès

l'âge de neuf ans (au moins), sur une gamme de valeurs aussi étendue que celle des adultes. Cette constatation implique que les voix enfantines se répartissent déjà, comme pour les adultes, en voix très graves, graves, moyennes, aiguës et très aiguës (l'échelle de classement étant en réalité continue), contrairement à une opinion courante qui les considère comme à peu près semblables et égales.

Nous aurions là un moyen précieux de classer les voix des enfants, le seul qui ait jamais existé à la vérité, car — c'est un fait digne de remarque — même les tenants de la théorie myo-élastique n'ont jamais songé (et pour cause) à prôner le classement des voix dans l'enfance d'après les critères anatomiques et morphologiques qui étaient exclusivement les leurs.

Il résulte des constatations précédentes qu'il peut paraître imprudent d'imposer à un ensemble vocal d'enfants des études de solfège dans les mêmes limites tonales. Et l'on comprend qu'une telle pratique arrive à fatiguer certaines voix enfantines, comme il a été observé très souvent par le passé.

Il serait donc souhaitable dorénavant de faire travailler le solfège en divisant les enfants au moins en deux groupes, l'un rassemblant les sujets classés alto, mezzo-grave, basse et baryton-grave, l'autre les sujets classés mezzo-aigu, soprano, baryton-aigu et ténor. Chaque groupe s'exercerait sur une étendue tonale appropriée.

VII. — Rôle des hormones dans la classification des voix

A) Action « facilitante » des hormones sexuelles sur le travail du récurrent et du larynx en régime biphasé ou monophasé. — Les voix des enfants avant la

mue, des femmes (surtout avant la ménopause), des insuffisants endocriniens (eunuchoïdes et adiposo-hypogénitaux notamment) travaillent d'une manière quasi exclusive en régime récurrentiel biphasé : ce sont des voix de tête ou de fausset.

Par contre, d'autres voix font appel à un régime récurrentiel monophasé (voix de poitrine) : celles des adultes masculins, des adolescents après la mue, de certaines femmes ménopausées présentant un syndrome de virilisation (femmes à barbe, viragos, etc.).

Les androgènes semblent avoir un effet de facilitation spécifique sur la conduction récurrentielle monophasée et sur la réponse monophasée de l'effecteur laryngien (Amado). Rappelons à ce propos la virilisation vocale et le poitrinage provoqués, chez la femme, par l'administration thérapeutique massive et prolongée d'hormones mâles.

A l'opposé, les œstrogènes semblent faciliter la conduction en régime biphasé. Nous avons déjà noté qu'un sujet traité, pour tumeur de la prostate, par des doses importantes d'hormones femelles, finissait par parler en voix de fausset (féminisation vocale).

Si donc l'action des hormones sexuelles sur le régime, monophasé ou biphasé, de phonation est certaine, son mécanisme, lui, n'est pas encore entièrement élucidé. Pourtant il ne semble pas que l'administration d'androgènes à la femme, même quand elle modifie profondément sa voix dans le sens indiqué ci-dessus, modifie sa chronaxie récurrentielle. Aussi sommes-nous tenté de partager l'avis d'Amado d'après lequel les hormones (au moins les hormones sexuelles) porteraient surtout leur action au niveau de l'effecteur laryngien. En présence d'hormones mâles, les fibrilles laryngées prendraient un développement plus large et répondraient par

grappes plus massives aux stimuli récurrentiels ; elles perdraient ainsi la faculté du « clivage » nécessité par le travail en roulement biphasé.

A l'appui de cette thèse, on observe, chez les femmes qui chantent trop souvent en régime monophasé (voix de poitrine), à condition bien entendu que le sphincter glottique ait résisté au poitrinage, une hyperplasie des cordes vocales qui se traduit, au miroir laryngoscopique, par un aspect de superaffrontement des cordes. La chanteuse qui « poitrine » perd peu à peu, d'abord la facilité, enfin même toute faculté de chanter en régime biphasé (voix de fausset ou de tête). Dans un cas de ce genre récemment observé, la chronaximétrie n'a pas réussi, non plus que chez les femmes ayant reçu de grosses doses d'androgènes, à mettre en évidence une modification de l'excitabilité récurrentielle.

On est donc en droit de penser finalement que les hormones sexuelles agissent sur le fonctionnement du larynx en régime monophasé ou biphasé, par un mécanisme qui serait à la fois auxotrophique et organogénétique. S'il existe aussi un mécanisme neurotrophique, nous dirons qu'il ne nous est pas apparu, mais nous ne nous croyons pas encore autorisé à trancher ce point, parce que trop peu de sujets, parmi ceux qui présentent des perturbations vocales consécutives à l'hormonothérapie mâle ou femelle, ont fait jusqu'ici l'objet d'études chronaximétriques.

B) **Hormones et classement des voix en étendue tonale.** — Le classement d'une voix en *étendue*, dépendant exclusivement des caractéristiques d'excitabilité du récurrent, et en particulier de sa chronaxie, est influencé par les actions hormonales dans la mesure où ce sont précisément celles-ci qui conditionnent la dite excitabilité.

Nous avons vu (pp. 25 et ss.) que les hormones interviennent dans le métabolisme des électrolytes Ca, K et Na qui régissent l'activité nerveuse rythmique. Elles interviennent donc de la même façon, à titre constitutionnel, dans la fixation des caractéristiques d'excitabilité qui déterminent l'étendue normale de la voix de chaque sujet.

Nous retrouvons ici l'action de certains stéroïdes cortico-surrénaux, de la thyroïde et de la parathyroïde. Et, bien que les hormones sexuelles ne nous aient pas paru susceptibles, *en thérapeutique*, de modifier la chronaxie du récurrent, on ne saurait en tirer argument pour leur refuser, *quand elles sont sécrétées naturellement au sein de l'organisme* (notamment l'œstrone et la progestérone), tout rôle vis-à-vis de l'activité nerveuse spontanée et rythmique.

C) **Hormones et subdivisions introduites dans chaque catégorie vocale par le timbre et l'intensité.** — Quoique nous ayons surtout en vue, dans ce chapitre, la classification *tonale* des voix, nous ne saurions passer sous silence que les hormones contribuent à décider de l'emploi d'une voix au théâtre, c'est-à-dire des rôles qu'on pourra lui assigner.

Si nous considérons par exemple la catégorie vocale des ténors, nous savons qu'elle se subdivise en ténors légers, lyriques et dramatiques. Le facteur de différenciation le plus important est l'intensité, qui est sous la dépendance de la pression sous-glottique susceptible d'être réalisée (de 50 à 200 cm^3 d'eau). Or celle-ci, loin de dépendre, comme on le croyait autrefois, de la capacité pulmonaire, dépend surtout de la fermeté des accolements du sphincter glottique. S'il en allait autrement d'ailleurs, on s'expliquerait mal qu'il suffise d'une petite capacité expiratoire de 1.000 à 1.500 cm^3 d'air pour chanter

la plus longue phrase musicale connue (dix-huit secondes).

La fermeté des accolements est fonction du tonus de la musculature globale du larynx, tonus entretenu par les actions auxotrophiques et myotrophiques d'hormones où prédominent les hormones somatotropes, hypophysaires, l'hormone thyroïdienne, les cortico-stéroïdes surrénaliens et les androgènes.

Enfin, le volume des cavités de résonance supraglottiques — lié au développement somatique général, et à celui de la région cervicale en particulier — intervient pour donner son volume à la voix. Mais cette question reste en dehors du présent ouvrage, où l'on s'est délibérément borné à étudier le fonctionnement du larynx pendant la phonation.

Notre but essentiel était en effet de faire connaître les données récentes, pour la plupart expérimentales, concernant la physiologie de la phonation dans ses rapports fondamentaux avec la neurologie et l'endocrinologie. Ces données trouvent dans le cas particulier de la classification des voix (l'un des problèmes les plus lourds de responsabilité qui se posent au physiologiste comme au phoniatre) un aboutissement pratique et aussi une justification.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

BINET (L.). *Comment se défend l'organisme*, collection « Que sais-je ? », Presses Universitaires de France, 1942.

CARUSO (Dorothy). *Enrico Caruso : sa vie, sa mort*, Corréa, édit., Paris, 1952.

COSSA (Paul). *Physiopathologie du système nerveux. Du mécanisme au diagnostic*, Masson & C^ie^, édit., 1950.

DELAY (Jean). *Les dérèglements de l'humeur*, Presses Universitaires de France, édit., Paris, 1946.

DUMONT (P.). *Etude chronaximétrique sur le larynx*, Thèse Fac. Sc., Paris, 1933, Vigot, édit., Paris.

FESSARD (A.). Propriétés rythmiques de la matière vivante, *Act. scient. et indust.*, Hermann, édit., Paris, 1936.

GARDE (E.). *Deux mille ans de théories vocales : d'Hippocrate à Lapicque, du larynx au cerveau*, Confér. Palais de la Découverte, édit., Paris, 1950.

GARDE (E.). *Toujours du larynx au cerveau : la neuro-phoniatrie*, Confér. Palais de la Découverte, édit., série A, n° 156, Paris, 1951.

GARDE (E.). La vibration des cordes vocales et ses niveaux encéphaliques d'intégration, *Revue de laryngologie*, Portmann, Bordeaux, n^os^ 3-4, mars-avril 1953.

GARDE (E.). Observation stroboscopique de la vibration des cordes vocales dans le « petit registre » (ou registre de « sifflet ») des soprani suraigus, *Folia Phoniatrica*, Zurich (Suisse), 1951, vol. 3, n° 4.

GARDE (E.). Evolution de nos connaissances et de nos conceptions en matière de pathogénie et de thérapeutique des troubles fonctionnels de la voix, Rapport au II^e^ Congrès de l'« Associat. française pour l'étude de la Phonation et du Langage », à paraître dans *Revue de laryngologie*, Portmann, Bordeaux, Supplementum 1954.

GOERTTLER (K.). Die Anordnung, Histologie und Histogenese der quergestreiften Muskulatur im menschlichen Stimmband, *Zeitsch f. Anat. und Entwickl*, Bd., 115, S. 352-401, 1950.

HUSSON (R.). Relations neuro-psychologiques entre la phonation et l'audition, *Annales de télécommunications*, t. 6, n° 10, oct. 1951.

HUSSON (R.). Conduction récurrentielle polyphasée pendant la phonation, *Folia Phoniatrica*, Zurich (Suisse), 1951, III, 4, 240.

HUSSON (R.) et DJIAN (A.). Tomographie et Phonation, *Journal de radiologie*, Paris, 1952, 33, 3-4, 127-135.

HUSSON (R.) et CHENAY (Ch.). Classification des Voix et excitabilité récurrentielle, *Comptes rendus Acad. Sc.*, t. 236, p. 1077-1079, mars 1953.

HUSSON (R.). *Etude des phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux de la voix chantée*, Thèse Fac. Sc., Paris, 1950 ; Revue Scientif. (4, rue de Pomereu, Paris-16e), édit.

LAGET (P.). Reproduction expérimentale de la vibration des cordes vocales, en l'absence de tout courant d'air, par stimulation électrique d'un récurrent du chien, *Revue de laryngologie*, Portmann, Bordeaux, Supplementum février 1953.

LAPICQUE (L.). *L'excitabilité en fonction du temps*, Presses Universitaires de France, Paris, 1926.

LAVIGNAC (A.) et DE LA LAURENCIE (L.). *Encyclopédie de la musique*, IIe Partie : *Technique, esthétique, pédagogie*, Delagrave, édit., Paris, 1926.

LHERMITTE (J.). *Le cerveau et la pensée*, Bloud & Gay, édit., Paris.

LHERMITTE (J.), MASQUIN (P.) et TRELLES (S. O.). *Précis d'anatomo-physiologie normale et pathologique du système nerveux central*, Doin, édit., Paris, 3e édit., 1949.

LINDEMANN (E.). Studies of action currents in laryngeal nerves, *Proceed. Soc. of the Experim. Biol. and Med.*, 27, 1930, S. 479-481.

MONNIER (A. M.). *Etude expérimentale du mécanisme physico-chimique de la subordination nerveuse*, Thèse Sc. Nat., Paris, 1933.

MONNIER (A. M.). *L'excitation électrique des tissus*, Thèse Sc. physiques, Hermann, édit., Paris, 1934.

MOULONGUET (A.), LAGET (P.) et HUSSON (R.). Démonstration chez l'homme de l'existence dans le nerf récurrent de potentiels d'action moteurs synchrones avec les vibrations des cordes vocales, *Bull. Acad. Méd.*, séance du 13 octobre 1953.

ROUVIÈRE (H.). *Anatomie humaine descriptive et topographique*, 2e édit., 1927, Masson & Cie, édit., Paris.

SAINTON (P.), SIMONNET (H.) et BROUHA (L.). *Endocrinologie clinique, thérapeutique et expérimentale*, 3e édit., 1952, 2 forts vol., Masson, Paris.

Thooris VAN BORRE (A.). *Le chant humain*, Amédée Legrand, édit., Paris, 1927.

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

CHAPITRE PREMIER. — Anatomie du larynx 5

(Ses rapports avec la phonation ; les différentes fonctions du larynx. — Situation. — Dimensions. — Constitution anatomique du larynx : cartilages ; muscles (extrinsèques, intrinsèques,) ; configuration intérieure : la corde vocale, les trois étages de la cavité laryngée, la glotte.)

CHAPITRE II. — Voies et centres nerveux 18

I. *Anatomie générale :* A) Nécessité actuelle de ces connaissances pour comprendre la phonation, 18. — B) Structure du système nerveux central, 19. — C) Anatomie du nerf récurrent, 21. — II. *Fonctionnement général*, 21. — A) L'activité nerveuse rythmique en général, 23. — B) Les facteurs ioniques de l'activité nerveuse rythmique : *a)* rôle du calcium ; *b)* rôle du potassium ; *c)* rôle du sodium, 25 à 27.

CHAPITRE III. — Les niveaux de stimulation rythmique dans la phonation 28

I. *Niveau cortical :* A) Généralités, 28. — B) Liens de niveau cortical entre la phonation et l'audition, 32. — II. *Niveau thalamo-strié et diencéphalique :* A) Rôle de l'affectivité, dans la phonation (humeur, cénesthésies, émotions) : *a)* le thalamus, 37 ; *b)* les corps striés, 38 ; *c)* l'hypothalamus et le diencéphale ; 39. — B) Hormones et phonation, 41. * Action des hormones sur le développement des organes phonateurs : 1) Mue normale, 42. — 2) Mues anormales : *a)* mue précoce, 43 ; *b)* mues tardives, 45 ; *c)* mues incomplètes et prolongées, 46. — 3) Développement du larynx pendant l'adolescence et l'âge adulte, 47. — 4) Sénescence de la voix, 48. * Action des hormones sur le tonus et l'excitabilité du sphincter laryngien : 1) Activité musculaire tonique en général et tonus de la glotte : expériences pharmacodynamiques directes, 49. — 2) Physiologie du complexe hypophyse-hypothalamus (Roussy et Mosinger), 50. — 3) De quelques dérèglements endocrino-phonatoires : *a)* à *c)* défaut de sécrétion d'hormone thyroïdienne ; excès d'hormone thyroïdienne ; insuffisance cortico-surrénale, 52. * *d)* Le trac, 54. — III. *Niveau bulbaire* : A) Généralités, 56. — B) Liens réflectifs de niveau bulbaire entre la phonation et l'audition. * Le réflexe cochléo-récurrentiel, 57. — C) Le réflexe trigémello-récurrentiel, 62. — D) Le rôle de la formation réticulée du bulbe dans la phonation, 63.

PAGES

CHAPITRE IV. — La réponse du récurrent et des cordes vocales aux stimulations encéphaliques 66

I. *La réponse du récurrent aux stimulations encéphaliques (Registres et passages au point de vue neurologique)* : conduction récurrentielle polyphasée pendant la phonation, 66. — II. *La réponse des cordes vocales aux stimulations encéphalo-récurrentielles*, 69. — A) Régime de réponse monophasé, 70. — B) Régime de réponse biphasé, 71. — C) Régime de réponse triphasé et quadriphasé, 72.

CHAPITRE V. — Expérimentation moderne sur le larynx 74

I. *Laryngoscopie*, 74. — II. *Stroboscopie*, 76. * Modes vibratoires normaux : A) Sons filés, 77. — B) Sons de poitrine ouverts émis à des hauteurs croissantes, 79. — C) Sons de poitrine couverts émis à des hauteurs croissantes, 80. — D) Sons de fausset, 82. — E) La couverture du son au passage du *mi 3* (hommes), 83. — F) Le comportement vibratoire des cordes vocales quand le timbre varie en dehors du passage, 87. — G) Le vibrato, modification périodique de l'amplitude vibratoire des cordes, 89. * Modes vibratoires paranormaux et pathologiques (généralités), 90. — III. *Tomographie*, 92. — IV. *Expérimentation physiologique pure* (électrophysiologie *in vivo*) : A) Les expériences de LINDEMANN (1930), 98. — B) Les expériences de DUMONT (1933), 99. — C) Les expériences de LAGET (1952), 99. — D) Les expériences de MOULONGUET (1952-53), 104.

CHAPITRE VI. — La classification tonale des voix..... 108

I. à IV. *Définition et but. — Les différents types de voix. — Etendue et tessiture. — Tessiture et catégories vocales*, 108 à 110. — V. *Les facteurs de classification vocale dans la théorie myo-élastique (examen critique)*, 111. — A) et B) Les résonateurs et le timbre ; la longueur des cordes vocales, 111-112. — C) Les caractères accessoires : 1) la taille ; 2) la hauteur de la voix parlée ; 3) la morphologie ; 4) caractères endocriniens et sexuels ; 5) état neuro-psychique, 112 à 115. — VI. *La chronaxie du récurrent et la classification tonale des voix*, 115. — VII. *Rôle des hormones dans la classification des voix* : A) Action facilitante des hormones sexuelles sur le travail du récurrent et du larynx en régime biphasé ou monophasé, 119. — B) Hormones et classement des voix en étendue tonale, 121. — C) Hormones et subdivisions introduites, dans chaque catégorie vocale, par le timbre et l'intensité, 122.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE..... 125

1954. — Imprimerie des Presses Universitaires de France. — Vendôme (France)
ÉDIT. N° 23.636 IMP. N° 13.581

EXTRAIT DU CATALOGUE DE LA COLLECTION

Nos 201 à 300

201. **Genèse de la flore terrestre** (A.-L. Guyot).
202. **Les singes anthropoïdes** (A. Urbain et P. Rode).
203. **Le calendrier** (P. Couderc).
204. **Les procédés modernes de construction** (M. Barbier).
205. **La chaleur animale** (A. Missenard).
206. **Histoire des Gaulois** (E. Thévenot).
207. **La chimie générale** (G. Champetier).
208. **Les vins de France** (G. Ray).
209. **La papauté contemporaine** (H. Marc-Bonnet).
210. **L'intelligence** (G. Viaud).
211. **Jeanne d'Arc** (J. Calmette).
212. **Géographie agricole du monde** (P. George).
213. **Le peuple des termites** (J. Feytaud).
214. **Les stations de radiodiffusion** (A. de Saint-Andrieu).
215. **La sélection animale** (L. Gallien).
216. **Les origines de Rome** (R. Bloch).
217. **Séismes et volcans** (J. Rothé).
218. **La psychologie appliquée** (R. Binois).
219. **La sélection végétale** (G. Chalaud).
220. **Le secret des couleurs** (M. Boll et J. Dourgnon).
221. **Psychoses et névroses** (H. Baruk).
222. **Histoire de l'Autriche** (J. Droz).
223. **L'économie des Etats-Unis** (P. George).
224. **Les grandes migrations** (L. Dollot).
225. **Les étapes de la logique** (M. Boll et J. Reinhart).
226. **Les pays légendaires devant la science** (R. Thévenin).
227. **La littérature grecque** (F. Robert).
228. **Histoire du Dauphiné** (G. Letonnelier).
229. **Les eaux minérales et l'organisme humain** (E. Duhot).
230. **Le soleil et son rayonnement** (H. Jarlan).
231. **La vie dans la Grèce classique** (Ch. Picard).
232. **Histoire du Canada** (M. Giraud).
233. **La vie dans les eaux douces** (P. Vivier).
234. **Les corps gras** (E. André).
235. **Les noms de personnes** (P. Lebel).
236. **La mort** (P. Chauchard).
237. **Les fruits exotiques** (A. Chevalier et J. Leroy).
238. **L'éducation physique** (R. Suaudeau).
239. **L'industrie du gaz** (J. Le Clézio).
240. **Catalyse et catalyseurs** (M. Prettre).
241. **Histoire des noirs d'Afrique** (H. Labouret).
242. **La vie rurale en France** (A. Dauzat).
243. **Électricité-magnétisme** (M. Boll).
244. **Mesures physiques** (A. Pérard).
245. **Médicaments et médications** (H. Harant).
246. **Géographie industrielle du monde** (P. George).
247. **L'Égypte ancienne** (J. Vercoutter).
248. **Histoire de la Russie des origines à 1917** (P. Pascal).
249. **Le chauffage des habitations** (A. Missenard).
250. **La philosophie antique** (A. Cresson).
251. **Le téléphone** (A. Blanchard et R. Croze).
252. **La douleur** (P. Chauchard).
253. **L'existentialisme** (P. Foulquié).
254. **Histoire du scoutisme** (H. Van Effenterre).
255. **Histoire de l'Alsace** (F. L'Huillier).
256. **La graphologie** (H. Hertz).
257. **Histoire de la police** (M. Le Clère).
258. **Cuirs et peaux** (J. Bérard et J. Gobilliard).
259. **Poudres et explosifs** (H. Muraour).
260. **Histoire des postes depuis la Révolution** (E. Vaillé).
261. **La chaleur** (R. Simonet).
262. **Histoire de la Corse** (A. Albitreccia).
263. **Le piano** (P. Locard).
264. **Le verre** (F. Meyer).
265. **La seconde guerre mondiale** (R. Céré).
266. **L'eau** (H. Jarlan).
267. **Les instruments à vent** (Ch. Kœchlin).
268. **Histoire de la Franche-Comté** (E. Préclin).
269. **Les origines de la bourgeoisie** (R. Pernoud).
270. **Vie et mort des mots** (M. Schöne).
271. **Origine des animaux domestiques** (R. Thévenin).
272. **Les instruments du quatuor** (M. Pincherle).
273. **Histoire du timbre-poste** (E. Vaillé).
274. **La publicité** (B. de Plas et H. Verdier).
275. **Histoire de l'Espagne** (P. Vilar).
276. **L'orgue** (N. Dufourcq).
277. **Physionomie et caractère** (F. Baud).
278. **L'opéra et l'opéra-comique** (R. Dumesnil).
279. **La civilisation de 1960** (J. Fourastié).
280. **La cellule photo-électrique** (J. Terrien).
281. **La statistique** (A. Vessereau).
282. **Histoire de la Grande-Bretagne** (P. Nicolle).
283. **L'économie de l'Europe centrale germanique** (R. Clozier).
284. **La grande industrie chimique minérale** (G. Champetier).
285. **L'inconscient** (J. Filloux).
286. **Histoire de l'Italie** (G. Bourgin).
287. **La physiologie végétale** (R. Combes).
288. **Le chant choral** (F. Raugel).
289. **Les régimes politiques** (M. Duverger).
290. **La littérature russe** (M. Ehrhard).
291. **Matière, électricité, énergie** (A. Boutaric).
292. **Babylone** (M. Rutten).
293. **Le son** (J.-J. Matras).
294. **La sécurité sociale** (A. Getting).
295. **La révolution de 1848** (Gaston-Martin).
296. **La littérature chinoise** (O. Kaltenmark).
297. **Le crime** (J. Marquiset).
298. **Histoire de l'armée** (G. Castellan).
299. **La découverte des mers** (R. Legendre).
300. **Le marxisme** (H. Lefebvre).

Que sais-je?

Collection dirigée par Paul Angoulvent

Derniers titres parus

568. **La tauromachie** (J. Testas).
569. **Les mouvements des végétaux** (P.-E. Pilet).
570. **La linguistique** (J. Perrot).
571. **Les nombres premiers** (E. Borel).
572. **Les méthodes en pédagogie** (G. Palmade).
573. **La Haute-Asie** (L. Hambis).
574. **Histoire du Mexique** (F. Weymuller).
575. **Les Papes de la Renaissance** (H. Marc-Bonnet).
576. **Les sensations chez l'animal** (E. Baumgardt).
577. **La guerre** (G. Bouthoul).
578. **Histoire de la Grèce moderne** (N. Svoronos).
579. **La mécanique des solides** (J.-L. Destouches).
580. **Les Tsiganes** (J. Bloch).
581. **La Commune** (G. Bourgin).
582. **La mythologie grecque** (P. Grimal).
583. **L'énergie chlorophyllienne** (J. Carles).
584. **Histoire de la médecine vétérinaire** (A. Senet).
585. **Le syndicalisme en France** (G. Lefranc).
586. **Les toxicomanies** (A. Porot).
587. **Le thomisme** (P. Grenet).
588. **La céramique grecque** (H. Metzger).
589. **L'exploration sous-marine** (P. Diolé).
590. **Biogéographie mondiale** (A. Cailleux).
591. **Histoire de la Pologne** (A. Jobert).
592. **Les pierres précieuses** (N. et A. Metta).
593. **Histoire des idées en France** (R. Daval).
594. **Le paludisme** (F. Pagès).
595. **Les roches sédimentaires** (Ch. Pomerol et R. Fouet).
596. **La vie à Rome dans l'Antiquité** (P. Grimal).
597. **L'Afrique occidentale française** (J. Pouquet).
598. **L'administration régionale et locale de la France** (H. Detton).
599. **La résistance des matériaux** (A. Delachet).
600. **L'art du comédien** (A. Villiers).
601. **L'âge critique** (P. Guilly).
602. **La structure moléculaire** (B. Pullman).
603. **Les terres australes** (E. Aubert de La Rüe).
604. **Le naturalisme** (P. Cogny).
605. **Le calcul mental** (R. Taton).
606. **Les civilisations africaines** (D. Paulme).
607. **Les épidémies** (H. Harant).
608. **Les grands marchés du monde** (P. George).
609. **Technique de l'urbanisme** (R. Auzelle).
610. **La chasse à courre** (F. Vidron).
611. **Australie et Nouvelle-Zélande** (A. Huetz de Lemps).
612. **La Justice en France** (R. Charles)
613. **Physiologie des mœurs** (P. Chauchard).
614. **L'hygiène de la vue** (E. Baumgardt).
615. **Optique théorique** (J. Terrien et A. Maréchal).
616. **L'Etat** (J. Donnedieu de Vabres).
617. **La pisciculture** (P. Vivier).
618. **L'art des jardins** (P. Grimal).
619. **L'Océanie française** (A. Huetz de Lemps).
620. **Histoire du livre** (E. de Grolier).
621. **Le fond des océans** (J. Bourcart).
622. **Alexandre le Grand** (P. Cloché).
623. **Les grands problèmes métaphysiques** (F. Grégoire).
624. **L'Allemagne de Hitler** (Cl. David).
625. **La phénoménologie** (J.-F. Lyotard).
626. **Les tests mentaux** (P. Pichot).
627. **La voix** (E. Garde).
628. **Le Brésil** (P. Monbeig).
629. **La vie en haute altitude** (J. Guillerme).

ÉDIT.
23.636

1954 Imp. PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE · Vendôme (France)